



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

**Механико-
машиностроительный
институт**

**М. Г. ГАЛКИН
А. С. СМАГИН**

ПРАКТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

Учебно-методическое пособие

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

М. Г. Галкин, А. С. Смагин

ПРАКТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методическим советом УрФУ
для бакалавров и магистров, обучающихся
по направлению 151900 — Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
(очной, очно-заочной и заочной форм обучения),
изучающих дисциплину «Технологический размерный анализ»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2016

УДК 621.9:658.512.2(075.8)

ББК 34.63я73

Г16

Рецензенты:

кафедра технологии машиностроения Новоуральского государственного технологического института (зав. кафедрой — канд. техн. наук *В. В. Закураев*);

гл. технолог ОАО «Машиностроительный завод им. Калинина»
О. Г. Кулькаманов

Научный редактор — д-р техн. наук, проф. *А. М. Антимонов*

Галкин, М. Г.

Г16 Практика технологического размерного анализа : учебно-методическое пособие / М. Г. Галкин, А. С. Смагин. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 107, [1] с.

ISBN 978-5-7996-1783-7

Учебно-методическое пособие включает в себя методические указания и рекомендации по выполнению практических и лабораторных работ. Для каждого раздела в работе приведены основные теоретические положения. Для более глубокого освоения материала рассмотрен сквозной пример, позволяющий уяснить взаимосвязь всех расчетных процедур в ходе технологического проектирования. В завершение практического раздела разработаны контрольные вопросы для промежуточной аттестации.

На заключительном этапе освоения курса для совершенствования понятийного аппарата размерного моделирования разработан комплекс лабораторных работ по расчету технологических размерных связей.

Методический материал может быть использован при выполнении курсового проекта по технологии производства машин, а также в процессе написания выпускной квалификационной работы.

УДК 621.9:658.512.2(075.8)

ББК 34.63я73

ISBN 978-5-7996-1783-7

© Уральский федеральный
университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Современное автоматизированное производство требует высокой стабильности в обеспечении качества выпускаемых деталей. Для реализации подобных требований необходим такой процесс проектирования технологии механической обработки, который надежно обеспечивал бы допустимые точностные требования для каждого изделия, подвергаемого обработке.

Эти требования практически трудновыполнимы без предварительного проведения размерно-точностного анализа на всех стадиях выполнения проектных процедур. Используемые в этом процессе межоперационные размерные связи позволяют рассматривать всю технологию обработки как единое целое, объединяя размеры исходной заготовки, операционные размеры, припуски и размеры с рабочего чертежа детали. Такая структура позволяет комплексно оценить качество разрабатываемого технологического процесса с учетом выбора схем базирования, назначения последовательности выполнения технологических операций и переходов внутри каждой операции с возможностью внесения допустимых коррективов в стартовую структуру с обязательной проверкой точности принимаемых проектных решений.

Роль технологического размерного анализа является еще более актуальной при проектировании автоматизированных процессов на предварительно настроенном металлообрабатывающем оборудовании, когда размеры в ходе обработки получаются автоматически.

В издании предложен к рассмотрению сквозной пример проектирования технологического процесса с последующим формированием его размерной схемы. При использовании этой проектной модели все расчетные процедуры далее решаются с применением современного математического аппарата в виде графовых моделей, существен-

но облегчающих выявление и последующее описание уравнений многосвязных линейных размерных цепей.

В созданных размерных цепях конструкторские размеры и припуски рассматриваются в качестве замыкающих звеньев, а технологические размеры и размеры исходной заготовки — в качестве составляющих звеньев.

Завершающим этапом в процессе решения связанных уравнений размерных цепей является определение точности выполнения конструкторских размеров в процессе обработки исходной заготовки, определение всех параметров технологических размеров, а также оценка величин допустимых колебаний припусков, особенно на окончательных переходах механической обработки. Кроме этого, величина колебания припуска дополнительно позволяет выявить рациональную глубину обработки в виде максимального припуска на каждом технологическом переходе, что ведет к существенной экономии обрабатываемого материала.

Данный алгоритм выявления и последующего расчета уравнений технологических размерных цепей позволяет окончательно спрогнозировать структуру и состав рассматриваемого технологического процесса, облегчить процесс его отладки, что ведет в конечном виде к повышению экономической эффективности производства.

Для углубленного освоения практических занятий предлагается комплекс лабораторных работ, в процессе выполнения которых требуется по описанному в практической части расчетному алгоритму определить все технологические размерные связи в процессе механической обработки осесимметричной заготовки для последующего оформления карт эскизов на каждую проектируемую операцию.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. НАЗНАЧЕНИЕ ЭТАПОВ И ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1.1. Общие сведения

Размерным анализом технологического процесса называют определение и последующий расчет размерных связей между переходами и операциями проектируемого технологического процесса. Следовательно, для проведения размерного анализа, когда в качестве исходных данных выступает рабочий чертеж детали, необходима обязательная разработка исходного варианта технологического процесса [2].

Целью размерного анализа в большей степени является обеспечение точности заданных рабочим чертежом размерных связей между поверхностями детали. С помощью размерного анализа определяется рациональная структура технологического процесса, позволяющая достичь поставленной цели. В процессе проведения размерного анализа с большей эффективностью формируются технологические операции и переходы, моделируются и впоследствии уточняются принятые схемы базирования, обоснованно определяются технологические размеры и размеры исходной заготовки. Размерный анализ позволяет рассчитать и при необходимости устранить чрезмерные колебания припусков на завершающих операциях технологического процесса.

Методы проведения размерного анализа зависят от вида исходных данных на проектирование. В частности при разработке нового технологического процесса известны параметры детали с рабочего чер-

тежа. Следовательно, часть технологических размерных цепей должна содержать конструкторские размеры и их предельные отклонения. Данные размеры будут исполнять роль замыкающих звеньев в соответствующих размерных цепях.

Если анализируется готовый технологический процесс, то, как правило, известны все технологические размеры и их предельные отклонения. Эти размеры являются исходными составляющими звеньями в размерной цепи, а замыкающее звено в виде конструкторского размера с его параметрами требуется оценить в ходе выполнения этого технологического процесса и сравнить с допускаемой величиной.

В теории размерных цепей эти задачи называют соответственно прямой, или проектной, и обратной, или проверочной. При прямой задаче заданы номинальный размер, допуск, предельные отклонения замыкающего звена и требуется определить номинальные значения, допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи. В качестве замыкающих звеньев рассматриваются конструкторские размеры и минимальные припуски. При решении обратной задачи по заданным номинальным значениям, допускам, предельным отклонениям составляющих звеньев требуется определить те же характеристики замыкающего звена [1].

Для решения этих задач существуют два основных метода расчета размерных цепей. Это метод на максимум-минимум и вероятностный метод. Первый из них относится к методу полной взаимозаменяемости, а второй — к неполной взаимозаменяемости [1].

Для расчета технологических размерных цепей удобнее использовать метод на максимум-минимум. Это объясняется тем, что число составляющих звеньев в технологических размерных цепях обычно не превышает пяти штук.

Исходный вариант маршрутного описания формируется на основе созданной структуры технологического процесса. При этом перед началом проведения всех расчетных процедур необходимо назначить величины допусков на технологические размеры и минимальные припуски, снимаемые при выполнении технологических переходов [2].

Для освоения практического материала рассматривается проектная задача. Следовательно, исходным документом являются рабочий чертеж детали и производственная среда, в которой будет осуществляться технологический процесс обработки заданной детали. Для решения проектной задачи по моделированию линейного размерного анализа рационально использовать алгоритм, предложенный в работе [3].

1.2. Анализ исходных данных

Деталь — втулка (рис. 1); тип производства — среднесерийное; оборудование — токарно-револьверный станок с вертикальной осью револьверной головки 1 Е340 П; вертикально-сверлильный станок 2 Н135; внутришлифовальный станок с горизонтальным шпинделем 3 К227 В; круглошлифовальный станок 3В110.

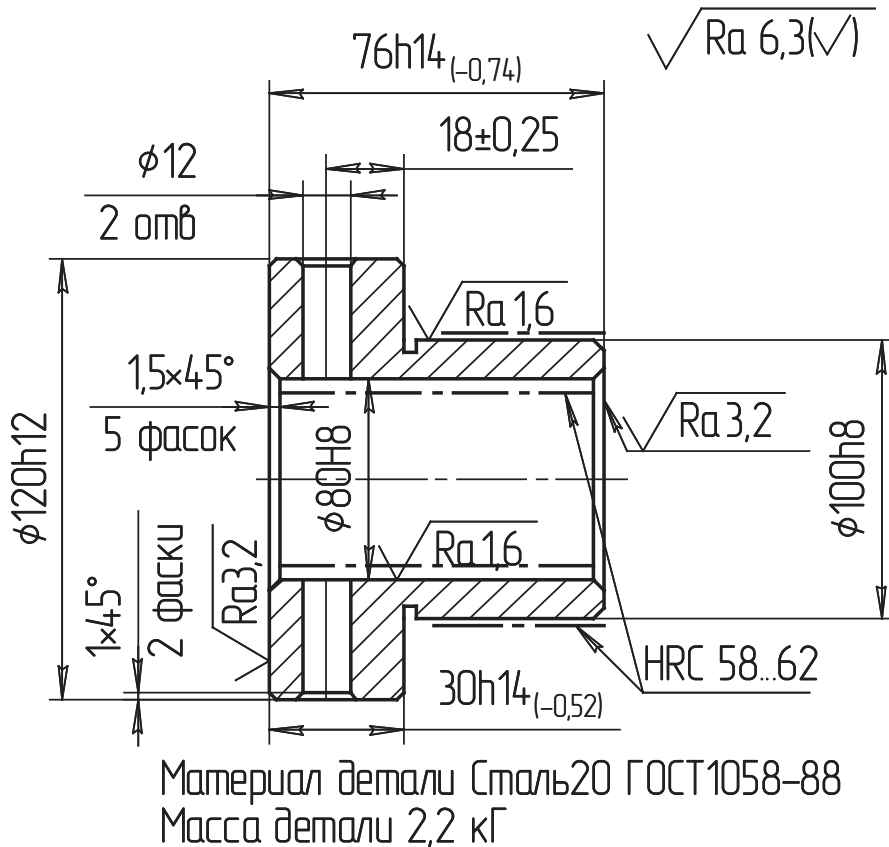


Рис. 1. Эскиз детали втулки

1.3. Нумерация обрабатываемых поверхностей

Нумерацию поверхностей желательно осуществлять с использованием следующих правил:

- размеры, расположенные в направлении координатной оси Z , нумеруются нечетными числами — слева направо;

- пронумеровав поверхности в направлении одной оси, нумеруем другую ось Y , используя четные числа;
- диаметральные поверхности нумеруются от меньшего значения диаметра к большему диаметру;
- в завершение нумеруются поверхности, не относящиеся ни к одной координатной оси и не требующие многопереходной обработки, с использованием оставшихся цифр;
- отверстия, имеющие зенковку, резьбу и фаски, нумеруются одним числом, а цековки у этих отверстий нумеруются отдельно;
- фаски в нумерации не участвуют, но в маршрутном описании их обработку необходимо предусмотреть;
- буквами латинского алфавита желательно нумеровать черновые базовые поверхности, не подлежащие в дальнейшем обработке.

В рассматриваемом примере вначале нумеруются торцы и оси отверстий, расположенные вдоль оси Z , затем цилиндрические поверхности вдоль оси Y . Этот алгоритм необходим для удобства описания поверхностей, подлежащих обработке. Следовательно, на оси Z (рис. 2) должны располагаться пронумерованные в порядке возрастания торцовые поверхности, оси поперечных отверстий, уступы и пазы. При этом само поперечное отверстие унаследует номер оси и в дальнейшем не нумеруется. Начинается нумерация с середины крайнего левого торца.

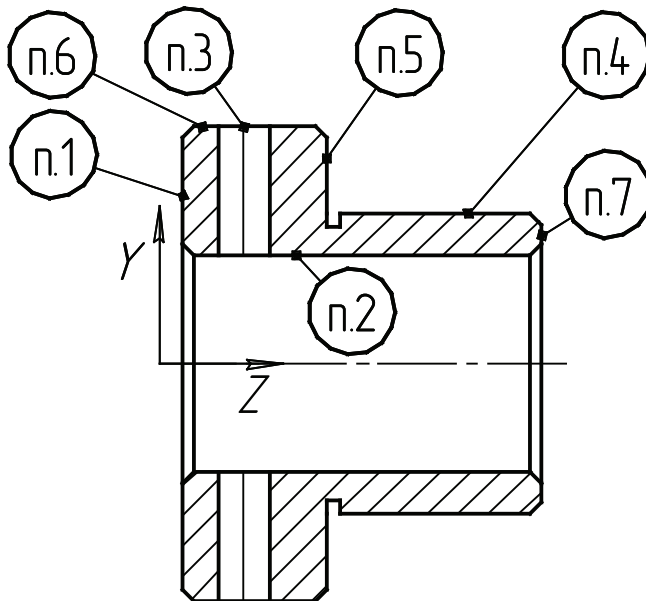


Рис. 2. Нумерация поверхностей

1.4. Выбор исходной заготовки и метода ее получения

Факторы, определяющие выбор заготовки:

- материал детали — сталь 20 (качественная углеродистая сталь, содержание углерода — 0,2 %);
- конфигурация детали — втулка с фланцем и сквозным отверстием;
- тип производства — среднесерийный.

Рациональнее при этом типе производства выбрать заготовку, форма которой приближена к форме готовой детали (рис. 3).

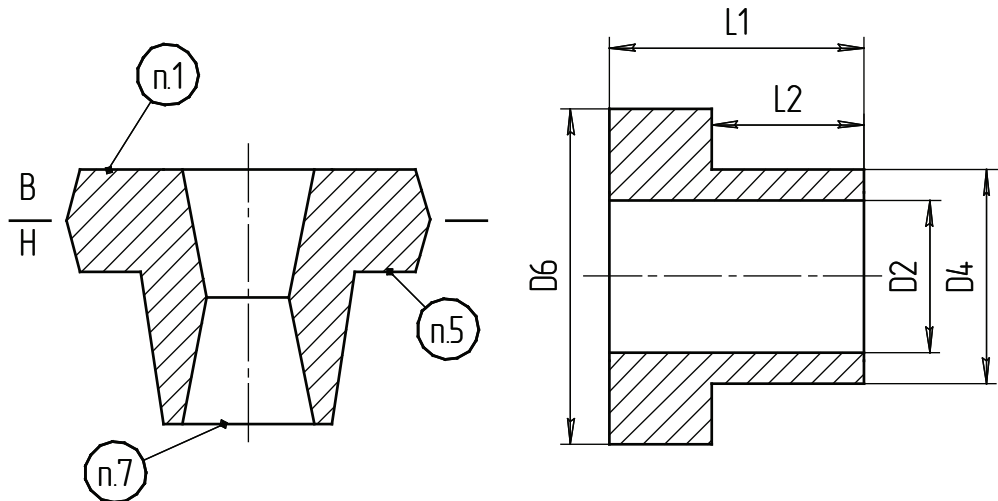


Рис. 3. Эскиз заготовки и ее условное изображение

Для производства заготовок рассматривается метод горячей объемной штамповки в открытых штампах. Известно, что при соотношении размеров $D_{\max} > L$ штампованную заготовку желательно производить на кривошипных горячештамповочных прессах. При этом сквозные отверстия в исходных заготовках выполняются при условии, что их диаметр не менее 30 мм и длина отверстия не более диаметра прошивки. При невыполнении последнего условия производится лишь наметка отверстия глубиной до 0,8 диаметра при изготовлении заготовки на молоте и прессе. Если $D_{\max} < L$, то для подобных деталей эффективнее выбирать объемную штамповку на ГKM. В этом случае предельная длина отверстия может достигать до трех диаметров.

Для выбора исходного индекса заготовки, являющегося основой для назначения общих припусков и допусков на ее поверхности, используются следующие параметры.

С учетом среднесерийного характера производства класс точности штампованной заготовки — T_5 по ГОСТ 7505–89 (табл. П.1).

Расчетная масса заготовки $M_{з.р}$, кг.

Группа стали — M_1, M_2, M_3 .

Степень сложности — C_1, C_2, C_3, C_4 .

Класс точности для штамповки в открытых штампах — T_4 или T_5 .

Приведем формулу для определения расчетной массы поковки.

$$M_{з.р} = M_{д} \cdot K_p, \quad (1)$$

где K_p — расходный коэффициент. Для круглых деталей в плане (ступицы, шестерни и т. п.) — $K_p = 1,5 \div 1,8$.

Можно принять $K_p = 1,8$. Тогда $M_{з.р} = 2,2 \cdot 1,8 = 3,96$ кг.

Группа материала определяется по процентному содержанию углерода: M_1 — до 0,35 %; M_2 — (0,35–0,65) %; M_3 — 0,65 % и более. В данном случае для стали 20 группа стали будет M_1 .

Степень сложности определяется из отношения объема исходной заготовки к объему элементарной геометрической фигуры, в которую вписывается эта заготовка. Либо из отношения расчетной массы заготовки $M_{з.р}$ к массе элементарной геометрической фигуры M_{ϕ} .

Степеням сложности штамповок и поковок соответствуют следующие численные значения отношения: C_1 — св. 0,63; C_2 — св. 0,32 до 0,63; C_3 — св. 0,16 до 0,32; C_4 — до 0,16.

Упрощенно размеры элементарной фигуры можно определять увеличением в 1,05 раза размеров детали.

Следовательно, масса элементарной фигуры будет равна

$$M_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho = \pi R_{\phi}^2 H_{\phi} \cdot \rho, \quad (2)$$

$$M_{\phi} = \frac{3,14 \cdot (1,05 \cdot 6)^2 \cdot (1,05 \cdot 7,5)}{1000} \cdot 7,8 \approx 8,2 \text{ кг.}$$

Тогда степень сложности будет соответствовать

$$C = \frac{M_{з.р}}{M_{\phi}} = \frac{3,96}{8,2} = 0,48. \quad (3)$$

Это число определяет параметр C_2 из табличного диапазона $0,32 \div 0,63$ (прил. 1, табл. П.2).

Далее по номограмме (прил. 1, табл. П. 4) для определения величины исходного индекса нужно для $M_{з.р} = 3,96$ кг выйти на M_1 и двигаться по горизонтали до C_1 , далее, опустившись по наклонной до вертикали C_2 снова двигаться по горизонтали до T_4 и опять опуститься по наклонной до вертикали T_5 . После этих действий на конечной горизонтали будет располагаться индекс под номером 14.

1.5. Определение общих припусков и допусков на размеры исходной заготовки

Общие припуски на обрабатываемые поверхности назначаются в соответствии с ГОСТ 26645–85.

Величина основного припуска определяется по следующим данным:

- исходный индекс заготовки — 14;
- размеры, связывающие поверхности на чертеже детали;
- шероховатость поверхностей детали на чертеже детали.

Если поверхности, связанные размером, формируются в разных половинах штампа или плоскость разреза штампа проходит по данной поверхности, то размер выбирается в строке «ТОЛЩИНА ДЕТАЛИ». Если эти поверхности формируются в одной половине штампа, то размер выбирается в строке «ДЛИНА, ШИРИНА, ДИАМЕТР, ГЛУБИНА и ВЫСОТА ДЕТАЛИ».

Эти же параметры, за исключением шероховатости, будут определять и допуски на размеры поковки (прил. 1, табл. П. 5).

Общий припуск на механическую обработку включает в себя основной и дополнительный припуски. Определение основных припусков отражено в табл. 1.

Таблица 1

Основные припуски

Поверхность	Толщина, мм	Высота, диаметр, мм	Шероховатость, Ra	Основной припуск, мм
1	75	—	3,2	2,5
7			3,2	2,5
5	—	43	6,3	1,7
7	—		3,2	2,5

Окончание табл. 1

Поверхность	Толщина, мм	Высота, диаметр, мм	Шероховатость, Ra	Основной припуск, мм
2–2	—	Ø80	1,6	2,0
4–4	—	Ø100	1,6	2,0
6–6	—	Ø120	6,3	2,7

Дополнительные припуски учитывают смещение поковок, изогнутость, отклонение от плоскостности и прямолинейности. Определение расчетных размеров исходной заготовки с учетом общих припусков приведено в табл. 2. Усредненно можно принять дополнительный припуск для цилиндрических поверхностей — 0,3 мм, для торцовых — 0,5 мм. Размеры исходной заготовки представлены в табл. 3.

Таблица 2

Общие припуски и расчетные размеры исходной заготовки

Поверхность	Размер, мм	Припуск Z , мм		Общие припуски		Расчетный размер, мм
		Основной	Дополнительный	На сторону, Z	На диаметр, $2Z$	
6–6	120	2,7	0,3	3,0	6,0	$120 + 6,0 = 126,0$
4–4	100	2,0	0,3	2,3	4,6	$100 + 4,6 = 104,6$
2–2	80	2,0	0,3	2,3	4,6	$80 - 4,6 = 75,4$
1	75	2,5	0,5	3,0	—	$75 + 6 = 81$
7		2,5	0,5	3,0	—	
5	43	1,7	0,5	2,2	—	$43 - 2,2 + 3 = 43,8$
7		2,5	0,5	3,0	—	

Линейные размеры 81 мм и 43,8 мм из табл. 2 необходимо далее уточнить по результатам проведения линейного размерного анализа.

Таблица 3

Допуски, предельные отклонения и размеры исходной заготовки

Расчетный размер, мм	Допуск, T , мм	ES , мм	EI , мм	Принятый размер, мм
$\varnothing 126,6$	3,6	+2,4	−1,2	$\varnothing 126,0^{+2,4}_{-1,2}$
$\varnothing 104,6$	3,2	+2,1	−1,1	$\varnothing 104,0^{+2,1}_{-1,1}$
$\varnothing 75,4$	2,8	+1,0	−1,8	$\varnothing 75,4^{+1,0}_{-1,8}$
81	3,2	+2,1	−1,1	$81^{+2,1}_{-1,1}$
43,8	2,8	+1,8	−1,1	$43,8^{+1,8}_{-1,1}$

1.6. Формирование планов обработки поверхностей

Проектирование единичного технологического процесса может быть реализовано либо на основе использования аналогов, либо как индивидуальное проектирование, когда прототипов для данной детали нет.

В данном примере рассматривается вариант без аналогов, и значит, необходимо применить индивидуальное проектирование.

При использовании стратегии проектирования «синтез сверху-вверх» разработка технологического процесса начинается с проектирования принципиальной схемы обработки детали [4; 5].

Известно, что за один технологический переход не всегда удастся при обработке исходной заготовки обеспечить параметры поверхности, заданные рабочим чертежом. Поэтому необходимо проектировать несколько переходов, формируя промежуточные поверхности на обрабатываемой заготовке. Сложились определенные закономерности назначения того или иного количества промежуточных поверхностей, которые условно объединяются в этапы обработки.

Этап обработки — это часть технологического процесса, включающая одинаковую по точности и качеству обработку различных поверхностей детали. Следовательно, из формулировки следует, что этап определяется состоянием поверхности после ее обработки.

Именно принципиальная схема, предложенная проф. Цветковым, и разбивает будущий технологический процесс на последовательность отдельных этапов обработки, начиная от заготовительного производства и заканчивая конечными размерами детали. Данная принципиальная схема построена на основе анализа обработки деталей различных классов с учетом различных сочетаний термической, химико-термической и механической обработки. Универсальная принципиальная схема, представленная в табл. 4, содержит 13 этапов обработки [5].

Установление необходимого количества этапов обработки для каждой элементарной поверхности детали является началом к формированию планов обработки этих поверхностей.

План обработки поверхности детали — это последовательность этапов обработки, необходимых для достижения заданных чертежом параметров этой поверхности.

Таблица 4

Этапы принципиальной схемы

№ этапа	Наименование этапов	Назначение этапов и достигаемые параметры
Э1	Заготовительный	Получение заготовки и термообработка
Э2	Черновой	Съем напусков и припусков. Точность до 12 кв., Ra до 6,3 мкм
Э3	Термический 1	Термообработка: улучшение, старение
Э4	Получистовой 1	Точность до 10 кв., Ra до 3,2 мкм
Э5	Термический 2	Цементация
Э6	Получистовой 2	Защита от цементации. Точность до 8 кв., Ra до 1,6 мкм
Э7	Термический 3	Закалка, улучшение
Э8	Чистовой 1	Точность до 6 кв., Ra до 0,8 мкм
Э9	Термический 4	Азотирование, старение
Э10	Чистовой 2	Точность до 5 кв., Ra до 0,4 мкм
Э11	Чистовой 3	Ra до 0,1 мкм.
Э12	Гальванический	Хромирование, никелирование и др.
Э13	Доводочный	Ra 0,04

С учетом принципиальной схемы (табл. 4) для обработки заданной детали (рис. 1), подвергаемой цементации, можно рекомендовать три этапа чисто механической обработки, которые приведены в табл. 5.

Таблица 5

Этапы механической обработки

2 этап		4 этап		6 этап	
14–12	$\geq 6,3$	11–10	$\geq 3,2$	9–8	$\geq 1,6$

Состояние поверхности будет характеризоваться точностью и шероховатостью обработанной поверхности. Так для детали (рис. 1) планы обработки поверхностей можно представить в виде табл. 6.

Таблица 6

Планы обработки поверхностей вдоль оси Z

№ пов.	2 этап		4 этап		6 этап	
	14–12	$\geq 6,3$	11–10	$\geq 3,2$	9–8	$\geq 1,6$
1	х		х			
2	х		х		х	
3	х					
4	х		х		х	
5	х					
6	х					
7	х		х			

Таким образом, мы получаем план обработки каждой поверхности с точки зрения количества необходимых этапов, т. е. технологических переходов. Но содержание технологических переходов, т. е. какие методы обработки будут применены на каждом переходе, неизвестно. Поэтому следующим шагом при разработке стартовой структуры технологического процесса будет выбор методов обработки поверхностей.

Выбор методов обработки на каждом этапе обусловлен видом поверхности (цилиндр, плоскость и др.), ее положением (наружная или внутренняя) и состоянием поверхности (калитет, Ra), достигаемым

на этом этапе. Назначение того или иного метода обработки на конкретном этапе обработки зависит от экономической точности, которую обеспечивает этот метод обработки.

При выборе методов обработки необходимо учитывать производственную среду, т. е. возможности имеющегося оборудования.

Для конкретной детали (рис. 1) табл. 6 преобразуется в табл. 7 при помощи подстановки в соответствующие ячейки методов обработки каждой поверхности.

Таблица 7

Планы обработки в виде совокупности методов

№ пов.	2 этап		4 этап		6 этап	
	14–12	≥6,3	11–10	≥3,2	9–8	≥1,6
1	Подрезать предварительно		Подрезать окончательно		—	
2	Расточить предварительно		Расточить окончательно		Шлифовать однократно	
3	Сверлить отверстие		—		—	
4	Точить предварительно		Точить окончательно		Шлифовать однократно	
5	Подрезать однократно		—		—	
6	Точить однократно		—		—	
7	Подрезать предварительно		Подрезать окончательно		—	

Для рассматриваемого примера используются токарно-револьверный, вертикально-сверлильный и круглошлифовальный станки. Технологические переходы, соответствующие выбранным методам обработки, заносим в табл. 7, которая содержит планы обработки всех поверхностей.

1.7. Формирование технологических операций

Возможности технологической операции связаны с возможностями станка, на котором эта операция реализована. В пределах одной

группы станков выбор вида станка, например токарно-винторезного или токарно-револьверного, или вертикального многошпиндельного токарного полуавтомата, определяется типом производства или конкретными производственными условиями. Модель станка будет определяться габаритами детали. То же самое и для всех остальных групп станков.

При формировании технологических операций стартового варианта технологического процесса необходимо стремиться к максимальной концентрации обработки. В одну технологическую операцию стараются включить технологические переходы обработки всех видов поверхностей, которые могут быть выполнены на данном станке, на всех этапах обработки, которые обеспечиваются этим станком. При этом обычно решаются и вопросы выбора баз, как установочных, так и настроечных.

Под установочными базами будем подразумевать поверхности детали, которые контактируют с установочными элементами приспособления. Работа ведется на настроенном станке, и от установочных баз производится настройка режущего инструмента на получаемый размер.

Настроечной базой является обработанная ранее поверхность на этом же установе, от которой настраиваются на размер инструменты для обработки других поверхностей.

В производственных условиях операция с максимальной концентрацией переходов не всегда может быть выполнена. Следовательно, необходима ее дифференциация на несколько простых операций. Помимо дифференциации стоит задача определения последовательности выполнения данных технологических операций.

Значит, при формировании маршрута обработки определяется интегрированный состав операций. Далее укрупненные операции, исходя из производственной необходимости, могут дифференцироваться на простые. В результате этих действий формируется последовательность операций по этапам.

Формирование последовательности операций происходит путем выявления признаков предшествования. Две операции предшествуют друг другу, если состояние детали на выходе одной операции может быть исходным состоянием для другой операции. Так сверлению поперечного отверстия на цилиндрической поверхности должно предшествовать точение этой поверхности [5].

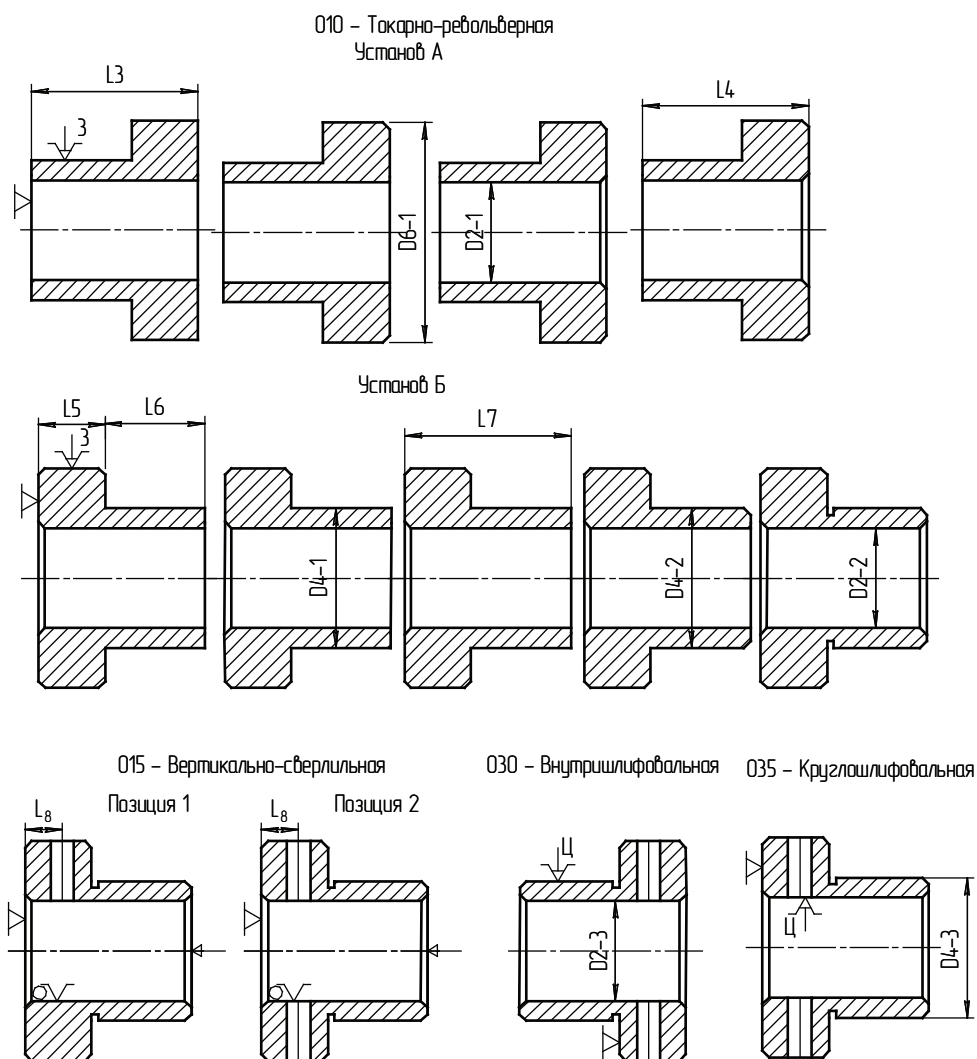


Рис. 4. Иллюстрации к маршруту обработки втулки

В рассматриваемом сквозном примере стартовый вариант технологического процесса, включая и операции, не связанные с механической обработкой, будет состоять из семи операций:

Операция 005 — Заготовительная (штамповка на КГШП).

Операция 010 — Токарно-револьверная.

Операция 015 — Вертикально-сверлильная.

Операция 020 — Термическая (цементация).

Операция 025 — Термическая (закалка с низким отпуском).

Операция 030 — Внутршлифовальная.

Операция 035 — Круглошлифовальная.

Иллюстрации, относящиеся к процессу механической обработки, представлены на рис. 4.

2. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РАЗМЕРНОЙ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Начинается размерный анализ с построения размерной схемы вдоль каждой из координатных осей.

Размерная схема показывает механизм взаимовлияния технологических размеров в процессе их получения по ходу обработки при превращении заготовки в готовую деталь. Она строится по следующему алгоритму.

Поверхности, обозначенные на детали (рис. 2), в размерной схеме должны иметь номера, кратные 10. Значит, они будут на схеме иметь значения 10, 30, 50, 70.

Для каждой поверхности детали вдоль принятой координатной оси определяется число ее промежуточных состояний и каждому из них также присваивается свой номер по следующему правилу. Номера промежуточных поверхностей определяются путем добавления или вычитания единицы от номера поверхности готовой детали, так чтобы соблюдался принцип увеличения номера вдоль координатной оси слева направо [2].

В частности для поверхности 10 в соответствии с планом ее обработки номера промежуточных состояний будут 9 и 8. Последний номер 8 будет соответствовать исходной заготовке. Для крайней правой поверхности 70 промежуточные поверхности обозначатся через 71 и 72. Номер 72 будет характеризовать поверхность на исходной заготовке.

Далее все номера необходимо расположить в окружностях вдоль одной линии и от каждой поверхности вниз провести вертикали.

Между этими вертикалями располагаются размерные связи, взятые из иллюстраций к технологическому процессу (рис. 4) и из рабочего чертежа детали (рис. 1).

Размеры указываются в буквенном исполнении и проставляются в следующем порядке:

1. Размеры на исходной заготовке.
2. Технологические размеры с иллюстраций.
3. Конструкторские размеры с рабочего чертежа.

При простановке технологических размеров одновременно указываются минимальные припуски, удаляемые при получении размера.

Конструкторские размеры обозначаются буквой *K*, припуски — буквой *Z*, технологические размеры — буквой *L*.

Стрелки на технологических размерах должны быть однонаправленными. При этом точка на линии размера обозначает базовую поверхность, а стрелка — обрабатываемую.

Для проверки правильности составления размерной схемы используются два правила.

Правило 1 — количество вертикальных линий должно быть на единицу больше количества технологических размеров.

Правило 2 — количество технологических размеров должно быть равно сумме количества припусков и конструкторских размеров [2].

Размерная схема, описывающая процесс обработки детали (рис. 1), представлена на рис. 5.

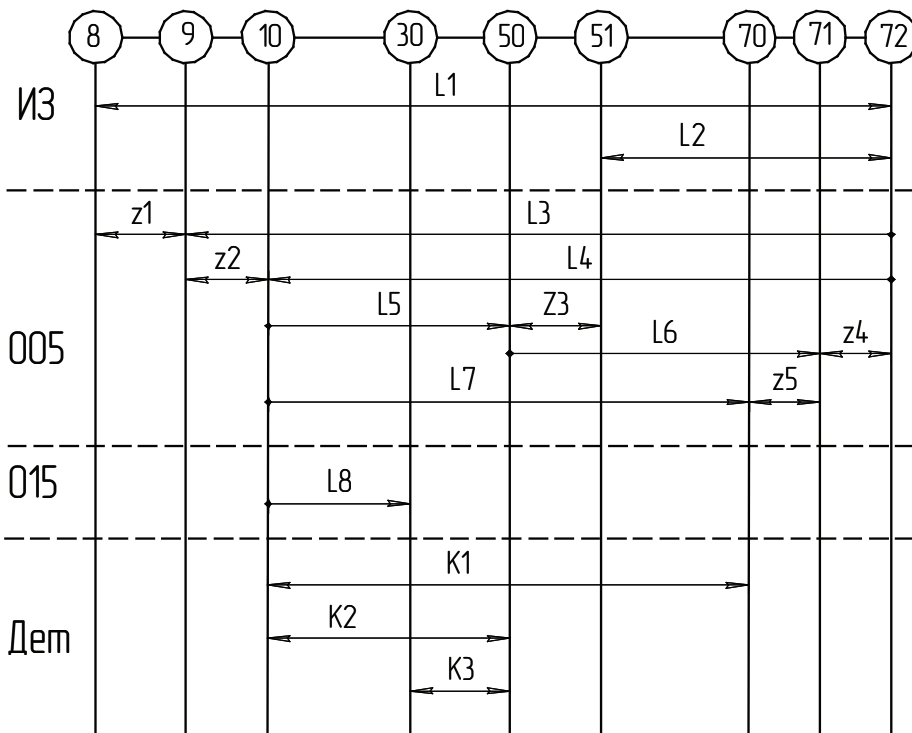


Рис. 5. Размерная схема технологического процесса вдоль оси *Z*

3. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

3.1. Общие сведения о графовых моделях

После составления размерной схемы для удобства выявления размерных цепей желательно воспользоваться графовыми моделями размерных связей технологического процесса.

Графовая модель, включающая все множество поверхностей, появляющихся в процессе обработки от исходной заготовки до готовой детали, а также все размерные связи между этими поверхностями, является удобным инструментом для анализа технологического процесса [5].

При этом обычно строятся исходный, производный и совмещенный графы. Исходный граф включает все замыкающие звенья, т. е. конструкторские размеры и припуски. Производный граф содержит все технологические операционные размеры и размеры исходной заготовки. Совмещенный граф получают путем наложения производного графа на исходный [2].

Перед построением графовых моделей необходимо пояснить самое общее положение теории графов.

Граф — это непустое множество объектов произвольной природы, называемых вершинами, и множество связей, называемых ребрами или дугами, которые соединяют пары заданных вершин.

В размерном анализе широко используются графы размерных связей. В качестве примера можно рассмотреть граф, описывающий размерные связи между торцовыми поверхностями детали (рис. 6). В данном случае вершинами графа являются торцовые поверхности, а связками графа — линейные размеры.

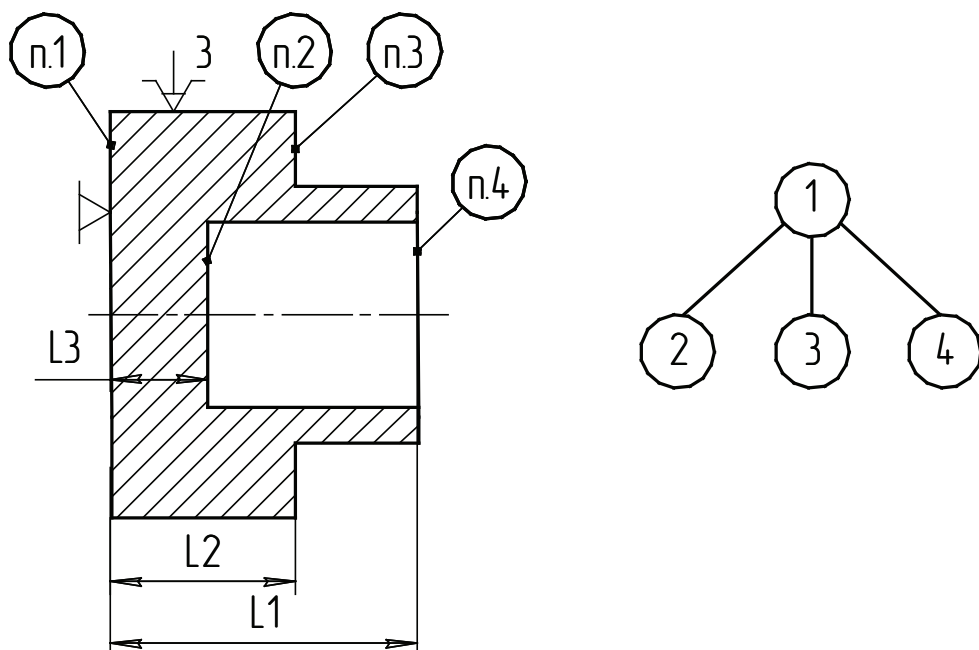


Рис. 6. Эскиз заготовки и графовая модель

Математическая запись графа имеет вид $G(A, E)$, где A — множество вершин (непустое); E — множество связей. Связки на графе могут быть без направления (ребра) и с направлениями (дуги). Если граф включает в себя только ребра, то он называется неориентированным графом, например граф линейных размеров детали (рис. 6).

Если граф содержит только связи с направлением, т. е. дуги, то такой граф называется ориентированным графом.

Маршрутом на графе называется непрерывающаяся последовательность ребер, когда каждые два соседних ребра имеют общую вершину. Можно записать несколько вариантов маршрута с одинаковыми начальными и конечными точками на одном графе. На графе (рис. 7) между вершинами 1 и 5 могут быть маршруты:

$$M_{1-5} = (1, 2, 5) = (u_1, u_5);$$

$$M_{1-5}^* = (1, 2, 4, 5) = (u_1, u_3, u_6);$$

$$M_{1-5}^{**} = (1, 2, 3, 2, 6, 5) = (u_1, u_2, u_2, u_4, u_4).$$

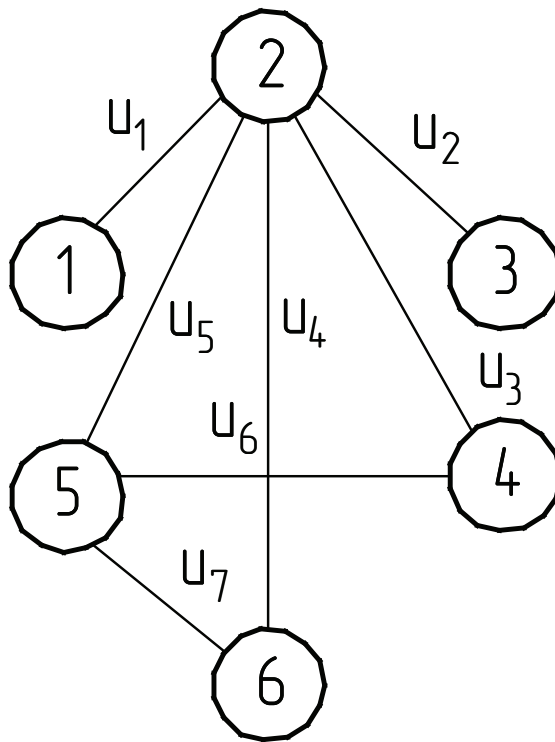


Рис. 7. Неориентированный граф

Как видно из последнего варианта маршрута M_{1-5}^{**} , одно и то же ребро (u_2) может встречаться в маршруте более одного раза.

Цепь — это маршрут, в котором каждое ребро встречается не более одного раза. Например, маршруты M_{1-5} и M_{1-5}^* являются цепями, так как в них каждое ребро встречается только один раз.

Маршрут циклический, если начало и конец маршрута находятся в одной вершине. Например: $M_{1-1} = (1, 2, 4, 5, 2, 1) = (u_1, u_3, u_6, u_5, u_1)$.

Циклом называют циклический маршрут, в котором ребра не повторяются. Например: $M_{2-2} = (2, 6, 5) = (u_4, u_7, u_5)$.

Граф, в котором любые две его вершины можно соединить цепью, называют связным графом. Типичным примером связного графа является граф размерных связей детали (рис. 5). Если в каком-либо координатном направлении существующая простановка размеров приводит к построению несвязного графа размерных связей, то это свидетельствует об ошибках в простановке размеров. Граф-дерево — это связный граф, не содержащий ни одного цикла (рис. 8).

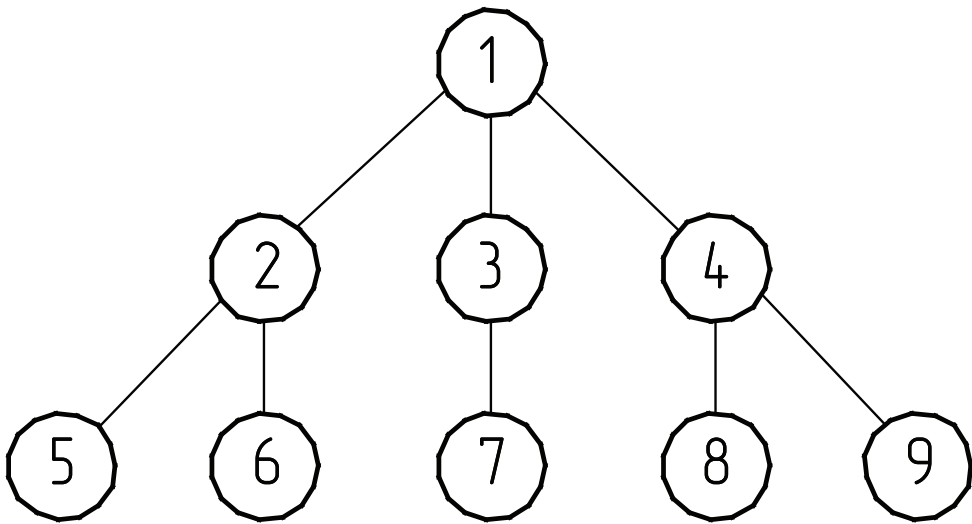


Рис. 8. Граф-дерево

Для построения граф-дерева выделяется одна из вершин дерева, которая называется корнем. Дальнейшее построение граф-дерева можно вести с любой вершины, принимаемой за корень. Далее проводятся ребра к вершинам, прямо связанным с корнем. Получается первый уровень вершин в графе. Далее от вершин первого уровня так же проводятся ребра к вершинам второго уровня и т. д. Так как граф-дерево — это неориентированный граф, то его построение можно начинать с любой вершины, расположенной на любом уровне [2].

3.2. Построение графовых моделей

Построение графовых моделей начинают с исходного графа. На горизонтальной оси располагаются только поверхности готовой детали. Обозначаются они вершинами с номерами, кратными 10. Эти вершины соединяются конструкторскими размерами. Ниже последовательно по вертикали располагаются промежуточные поверхности. С поверхностями готовой детали они соединяются зигзагообразными линиями, которые обозначают минимальные припуски, удаляемые на соответствующих технологических переходах [2].

Исходный граф для проектируемого технологического процесса будет иметь следующий вид (рис. 9).

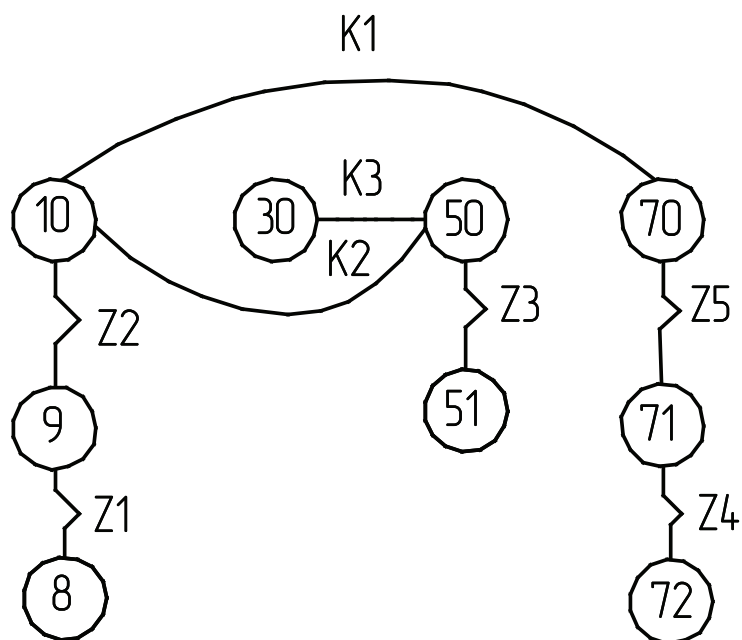


Рис. 9. Исходный граф

При построении производного графа расположение вершин принимается точно таким же, как и на исходном графе. Связками в этом случае служат все технологические размеры и размеры исходной заготовки. Эта модель будет иметь вид, представленный на рис. 10, а.

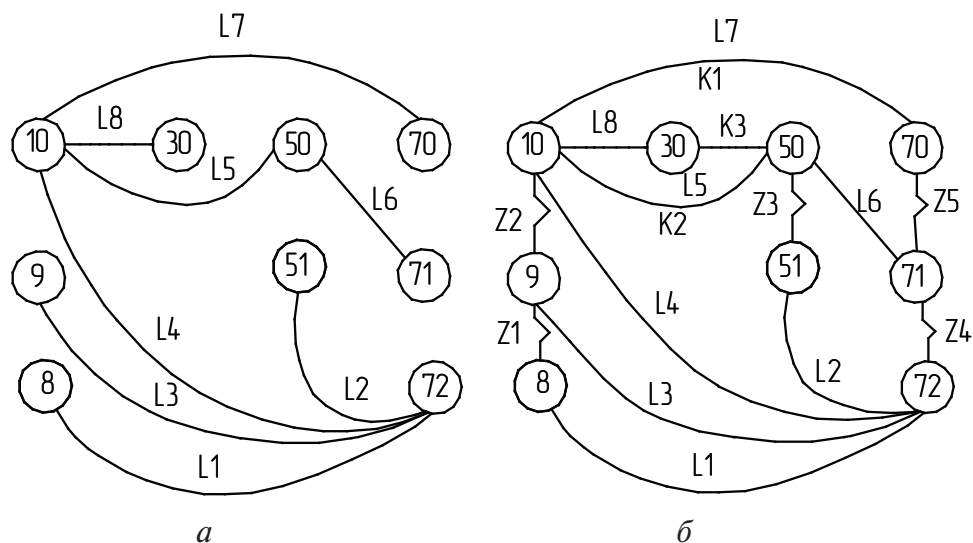


Рис. 10. Производный граф (а) и совмещенный граф (б)

Правильность построения графов проверяется следующим образом. На графах не должно быть изолированных вершин и не должно быть циклов. Количество связей на графах должно быть одинаковым. Наличие цикла на графе свидетельствует о лишних размерах или на детали, или на операционных эскизах. Наличие изолированных вершин свидетельствует о недостающих размерах или на чертеже, или на эскизах.

Совмещенный граф (рис. 10, б) получается наложением производного графа на исходный. Этот граф является математической моделью размерных связей всего технологического процесса.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Для составления уравнений размерных связей для последующего расчета размеров необходимо выявить все размерные цепи, участвующие в процессе обработки.

Размерные цепи достаточно просто выявляются только с использованием исходного и производного графов без построения совмещенного графа.

При формировании размерных цепей используются следующие правила.

1. Выбирается любое замыкающее звено K_i или Z_i .
2. На исходном графе фиксируются вершины, соединяющиеся этим звеном, в порядке возрастания их номеров.
3. На производном графе находится совокупность вершин, по которым нужно последовательно пройти, чтобы прийти из исходной вершины с меньшим номером в исходную вершину с большим номером. Далее записывается уравнение размерной цепи в следующем порядке:
 - замыкающее звено всегда записывается со знаком минус;
 - очередное составляющее звено записывается со знаком плюс, если по нему идет перемещение от меньшей вершины к большей;
 - очередное составляющее звено записывается со знаком минус, если по нему идет перемещение от большей вершины к меньшей.
4. При графическом изображении размерной схемы в верхней ветви указываются все звенья с плюсовыми знаками, в нижней ветви все звенья с минусовыми знаками и замыкающее звено.

Очевидно, что звенья, имеющие знак плюс, относятся к увеличивающим, а звенья, имеющие знак минус, относятся к уменьшающим [2].

Алгоритм выявления размерных цепей удобно представлять в табличном виде. Форма этой таблицы приведена ниже. В ней рассмотрены ре-

ализация алгоритма формирования уравнений размерных цепей и их графическая интерпретация для рассматриваемого примера обработки.

Таблица 8

Выявление размерных цепей

Замы- кающее звено	Вершины исходного графа	Последова- тельность вершин производного графа	Уравнение размерной цепи	Размерная цепь
$K1$	10; 70	10; 70	$-K1 + L7 = 0$	
$K2$	10; 50	10; 50	$-K2 + L5 = 0$	
$K3$	30; 50	30; 10; 50	$-K3 - L8 + L5 = 0$	
$Z1$	8; 9	8; 72; 9	$-Z1 + L1 - L3 = 0$	
$Z2$	9; 10	9; 72; 10	$-Z2 + L3 - L4 = 0$	
$Z3$	50; 51	50; 10; 72; 51	$-Z3 - L5 + L4 - L2 = 0$	
$Z4$	71; 72	71; 50; 51; 72	$-Z4 - L6 - L5 + L4 = 0$	
$Z5$	70; 71	70; 10; 50; 71	$-Z5 - L7 + L5 + L6 = 0$	

5. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

5.1. Постановка задачи. Определение допусков на технологические размеры

Прежде чем приступить к расчету уравнений размерных цепей с целью определения номинальных и предельных значений всех технологических размеров, необходимо проверить, решает ли стартовая структура технологического процесса все задачи по обеспечению точности проектируемой технологии.

В случае если эти задачи не решаются, необходимо корректировать стартовую структуру путем изменения схем базирования, планов обработки или введением дополнительной обработки элементарных поверхностей.

Принятые за основу планы обработки отдельных поверхностей (табл. 7) будут определять значения допусков на технологические размеры, исходя из точности соответствующего этапа обработки.

Следовательно, прежде чем приступить непосредственно к проверкам, необходимо назначить первоначальные допуски на все технологические размеры по ЕСДП. Сначала назначается более свободный для исполнения допуск. В частности для первого этапа, который обеспечивает точность обработки в пределах 14–12 квалитетов, назначается допуск по 14-му квалитету. Для второго этапа, характеризующегося 11–10 квалитетами, назначается допуск по 11-му квалитету. При условии если проверка не пройдет, то прежде всего можно ужесточить допуск для первого этапа до 12-го ква-

литета, для второго до 10-го качества и т. д. Допуски и предельные отклонения на размеры L_1 и L_2 исходной заготовки нужно назначать по ГОСТ 7505–89.

При назначении допусков еще не известны точные номинальные значения технологических размеров, но практически безошибочно можно определить интервал, в который попадет этот технологический размер (прил. 1, табл. П.5). При этом за основу берется размер с рабочего чертежа детали с его приблизительной корректировкой на величину предполагаемого снимаемого припуска.

Первоначально найденные допуски заносятся в табл. 9, в колонку «До корректировки». При этом колонка «После корректировки» пока остается незаполненной.

Далее проводится проверка обеспечения стартовой структурой технологического процесса точностей конструкторских размеров. Для всех размерных цепей, где замыкающим звеном является конструкторский размер, при расчете цепи на максимум-минимум должно выполняться следующее неравенство:

$$TK_i \geq \sum TL_i, \quad (4)$$

где TK_i — допуск конструкторского размера, являющегося замыкающим звеном соответствующей размерной цепи;

$\sum TL_i$ — сумма допусков технологических размеров, которые входят в данную цепь.

В цепях с замыкающим звеном в виде минимального припуска определяется его поле рассеяния по следующей формуле:

$$\omega Z_i = \sum TL_i \quad (5)$$

где ωZ_i — колебание i -го припуска (допуск припуска).

После этого определяется максимальная величина данного припуска $Z_{i\max}$ с использованием следующего выражения:

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + \omega Z_i \quad (6)$$

В качестве ориентировочного критерия для оценки производительности и стабильности стартового варианта технологического процесса может быть ограничение по величине отношения $Z_{i\max}/Z_{i\min}$ [2].

В соответствии с размерной схемой (рис. 9) к 1-му этапу обработки относятся технологические размеры L_3 , L_5 , L_6 и L_8 . К окончательной обработке относятся размеры L_4 и L_7 .

Таблица 9

Первоначальное назначение допусков на технологические размеры

Технологические размеры	Этап обработки	До корректировки		После корректировки	
		Квалитет	$T_{\text{и}}$ (мм)	Квалитет	T_{L_i} (мм)
L_1	Исходная заготовка	—	$3,2^{(+2,1)}_{(-1,1)}$	—	—
L_2	Исходная заготовка	—	$2,8^{(+1,8)}_{(-1,0)}$	—	—
L_3	1-й	14	0,74	—	—
L_4	2-й	11	0,19	—	—
L_5	1-й	13	0,33	—	—
1	2	3	4	5	6
L_6	1-й	14	0,62	—	—
L_7	2-й	11	0,19	—	—
L_8	1-й	14	0,43	—	—

5.2. Проверка точности конструкторских размеров

Первые две цепи — однозвенные. Значит, неравенства для проверки будут иметь следующий вид:

$$TK_1 \geq TL_7 \Rightarrow 0,74 \text{ мм} > 0,19 \text{ мм.}$$

Точность размера K_1 обеспечивается.

$$TK_2 \geq TL_5 \Rightarrow 0,52 \text{ мм} \geq 0,33 \text{ мм.}$$

Точность размера K_2 обеспечивается.

Для третьей размерной цепи из табл. 8 в соответствии с зависимостью (4) неравенство будет записано следующим образом:

$$TK_3 \geq TL_5 + TL_8 \Rightarrow 0,50 \geq 0,33 + 0,43.$$

Точность размера K_3 не выполнена.

Следовательно, необходимо корректировать соответствующие допуски, назначая их по более точному квалитету на рассматриваемом

этапе. На первом этапе это будет 12 квалитет. Тогда $TL_5 = 0,25$ мм и $TL_8 = 0,18$ мм.

После повторной проверки с новыми значениями допусков условие обеспечения точности размера K_3 выполняется. При завершении всех проверок значения допусков после корректировки необходимо занести в соответствующую колонку табл. 9.

5.3. Проверка величин колебаний припусков

Эта проверка необходима для оценки поля рассеяния величины припуска. В большей степени она нужна для переходов, связанных с тонкой обработкой или выполняемых абразивным инструментом. В данном случае в размерных цепях с большим числом звеньев максимальная величина припуска может в несколько раз превышать минимальную, что резко увеличивает время обработки и снижает стабильность процесса резания, влияющую на точность формы обрабатываемых поверхностей и на колебания размеров.

Алгоритм оценки величин колебаний припусков необходимо выполнять в следующей последовательности.

По таблицам экономической точности обработки ориентировочно назначаются параметры минимальных припусков Z_{imin} (прил. 1, табл. П.7). В соответствии с размерной схемой минимальные припуски на предварительную и окончательную обработку можно представить в виде табл. 10.

Таблица 10

Минимальные припуски на обработку торцов (мм)

Z_{1min}	Z_{2min}	Z_{3min}	Z_{4min}	Z_{5min}
1,3	0,45	1,3	1,3	0,45

Примечание: припуски по этой таблице выбраны из предположения, что торцовые поверхности подрезают не более чем на $(\frac{1}{2} \div \frac{2}{3})d$ от наружной поверхности. При полном подрезании всего торца указанные припуски следует увеличить примерно на 30 %.

После назначения минимальной величины припуска определяется его поле рассеяния ωZ_i по формуле (5) и вычисляется Z_{imax} по выражению (6). Далее определяется отношение Z_{imax}/Z_{imin} , которое для

чистовых и отделочных переходов не должно превышать трехкратной величины. Для предварительной и однократной обработки это отношение не регламентируется.

Произведем вычисления для всех припусков от Z_1 до Z_5 .

$$\begin{aligned} Z_{1\max} &= Z_{1\min} + \omega Z_1 = 1,3 + 3,94 = 5,24; & Z_{1\max}/Z_{1\min} &= 5,24/1,3 < 5. \\ Z_{2\max} &= Z_{2\min} + \omega Z_2 = 0,45 + 0,93 = 1,38; & Z_{2\max}/Z_{2\min} &= 1,38/0,45 \approx 3. \\ Z_{3\max} &= Z_{3\min} + \omega Z_3 = 1,3 + 3,24 = 4,54; & Z_{3\max}/Z_{3\min} &= 4,54/1,3 \approx 3,5. \\ Z_{4\max} &= Z_{4\min} + \omega Z_4 = 1,3 + 1,06 = 2,36; & Z_{4\max}/Z_{4\min} &= 2,36/1,3 \approx 1,8. \\ Z_{5\max} &= Z_{5\min} + \omega Z_5 = 0,45 + 1,06 = 1,51; & Z_{5\max}/Z_{5\min} &= 1,51/0,45 \approx 3,4. \end{aligned}$$

Так как при определении величины отношения для $Z_{5\min}$ получается число 3,4, большее, чем принятая допустимая величина, равная трем, то необходима корректировка. Можно назначить допуск на размер L_6 по более жесткому 12 качеству точности. Это позволит уменьшить исходную величину допуска до 0,25 мм. При повторной проверке отношение $Z_{5\max}/Z_{5\min}$ не превышает трехкратной величины.

Результаты вычислений можно оформить в виде табл. 11.

Таблица 11

Значения припусков

Z_i	$Z_{i\min}$	ωZ_i	$Z_{i\max}$	$Z_{i\max}/Z_{i\min}$	Примечание
Z_1	1,3	3,94	5,24	$5,24/1,3 < 5$	
Z_2	0,45	0,93	1,38	$1,38/0,45 \approx 3$	
Z_3	1,3	3,24	4,54	$4,54/1,3 \approx 3,5$	
Z_4	1,3	1,06	2,36	$2,36/1,3 \approx 1,8$	
Z_5	0,45	1,06	1,51	$1,51/0,45 \approx 3,4$	Нужна корректировка
Определение отношения $Z_{i\max}/Z_{i\min}$ после корректировки					
Z_5	0,45	$0,19 + 0,25 + 0,25 = 0,69$	1,14	$1,14/0,45 \approx 2,5$	После корректировки

После корректировки табл. 9 будет иметь содержание, представленное в табл. 12.

Таблица 12

Окончательные назначения допусков на технологические размеры

Технологи- ческие размеры	Этап обработки	До корректировки		После корректировки	
		Квалитет	TL_i (мм)	Квалитет	TL_i (мм)
L_1	Исходная заготовка	—	$3,2^{(+2,1)}_{(-1,1)}$	—	—
L_2	Исходная заготовка	—	$2,8^{(+1,8)}_{(-1,0)}$	—	—
L_3	1-й	14	0,74	—	—
L_4	2-й	11	0,19	—	—
L_5	1-й	13	0,33	12	0,25'
L_6	1-й	14	0,62	12	0,25''
L_7	2-й	11	0,19	—	—
L_8	1-й	14	0,43	12	0,18'

Примечание: допуски $TL_5 = 0,25'$ мм и $TL_8 = 0,18'$ мм получены в результате корректировки, связанной с обеспечением необходимой точности конструкторского размера K_3 ; допуск $TL_6 = 0,25''$ мм получен в результате корректировки, в связи с необходимостью уменьшения поля рассеяния величины припуска, на окончательной обработке.

6. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И РАЗМЕРОВ НА ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКЕ

6.1. Учет запасов точности конструкторских размеров

Для технологических размерных цепей в основном используется метод расчета на максимум-минимум.

Перед началом выполнения расчетных процедур необходимо определить образовавшиеся запасы точности конструкторских размеров в результате проведенных проверок в предыдущем разделе.

Запасы точности (табл. 13) определяются как разность между величиной допуска конструкторского размера по чертежу и суммой допусков составляющих звеньев, входящих в рассматриваемое уравнение размерной цепи. Например, если в цепь с замыкающим звеном K_3 входят составляющие звенья L_5 и L_8 , то запас точности будет определяться как разность $[TK_3 - (TL_5 + TL_8)]$ [2].

Таблица 13

Запасы точности конструкторских размеров

Конструкторский размер по чертежу	Запас точности	Конструкторский размер при расчетах
$K_1 = 76_{-0,74}$	0,55	$K_1' = 76_{-0,19}$
$K_2 = 30_{-0,52}$	0,27	$K_2' = 30_{-0,25}$
$K_3 = 18^{+0,50}$	0,07	$K_3' = 18^{+0,43}$

В расчетах будет использоваться обеспечиваемый технологией обработки допуск TK_3^* на конструкторский размер K_3 , который равен разности между чертежным допуском TK_3 и запасом точности. При этом допуски на технологические размеры берутся из табл. 12, из столбца «После корректировки», если они корректировались в ходе проверочных расчетов стартовой структуры технологического процесса и из столбца «До корректировки», если коррекция не проводилась.

6.2. Алгоритм расчета размеров

Начинается расчет с размерных цепей, в которых замыкающим звеном является конструкторский размер. Допуски на конструкторские размеры должны подставляться в расчетные зависимости с учетом полученных запасов точности, которые были определены в предыдущем параграфе.

Расчет ведется по способу отклонений замыкающего звена. Для этого используются уравнения, по которым определяется номинальный размер замыкающего звена (7), верхнее предельное отклонение (8) и нижнее предельное отклонение (9) замыкающего звена.

$$A_{\Delta} = \sum_m A_{L_i}^{yB} - \sum_n A_{L_i}^{yM} \quad (7)$$

где m — число увеличивающих звеньев; n — число уменьшающих звеньев.

Допуск замыкающего звена определяется по зависимости (4). Верхнее и нижнее предельные отклонения находятся по следующим зависимостям:

$$ES_{A_{\Delta}} = \sum_m ES_{L_i}^{yB} - \sum_n EI_{L_i}^{yM}, \quad (8)$$

$$EI_{A_{\Delta}} = \sum_m EI_{L_i}^{yB} - \sum_n ES_{L_i}^{yM}. \quad (9)$$

Из уравнений (8) и (9) определяются предельные отклонения рассчитываемого технологического размера при известных других размерных параметрах.

Проверка правильности выполнения расчетных зависимостей производится по формуле (10).

$$TL_i^* = ES_{L_i} - EI_{L_i}, \quad (10)$$

где отклонения ES_{L_i} и EI_{L_i} определены для очередного технологического размера L_i по зависимостям (8) и (9).

Далее TL_i^* сравнивается со значением TL_i , представленным в табл. 12. Если они совпадают, то расчет предельных отклонений выполнен верно.

При расчетах размерных цепей с замыкающим звеном припуском применяется способ предельных значений. В этом случае вычисления производятся, используя зависимость для определения минимального значения замыкающего звена.

$$A_{\Delta i \min} = \sum_m A_{L_{i \min}}^{yb} - \sum_n A_{L_{i \max}}^{ym}. \quad (11)$$

В левой части зависимости (11) записывается минимальный припуск на обработку, который является замыкающим звеном в рассматриваемой размерной цепи.

Из формулы (11) определяется одно из предельных значений неизвестного технологического размера. Второе предельное значение рассчитывается с учетом добавления к найденному предельному значению или вычитания из найденного предельного значения допуска искомого технологического размера из табл. 12.

Номинальные размеры, связанные с исходной заготовкой, определяются после того, как определены предельные размеры исходной заготовки $L_{i \max}$ и $L_{i \min}$. Если исходной заготовкой является горячая объемная штамповка, то ее номинальный размер получается либо суммированием значений $L_{i \min}$ и EI_{Li} , либо вычитанием из $L_{i \max}$ верхнего отклонения ES_{Li} . Величины EI_{Li} и ES_{Li} , а также допуски TL_i для размеров исходной заготовки представлены в табл. 12.

Численное определение размеров начинается с двухзвенных цепей, в которых неизвестно одно звено.

Из первого уравнения (табл. 8) следует: $K_1 = L_7$; $L_7 = 76_{-0,19}$ мм.

Из второго уравнения (табл. 8) следует: $K_2 = L_5$; $L_5 = 30_{-0,25}$ мм.

Найденное в размерной цепи составляющее звено вычеркивается из всех других уравнений. При этом уравнение, в котором после вычеркивания окажется одно неизвестное звено, будет рассчитываться следующим. Данный алгоритм будет повторяться, пока не будет установлена очередность расчета для всех цепей (табл. 14).

Третья по очередности цепь относится к замыкающему звену K_3 . Уравнение будет выглядеть следующим образом $K_3 = L_5 - L_8$. Из этой зависимости можно определить размер L_8 . Расчет его параметров производится с использованием выражений (7), (8) и (9).

Для определения номинального значения L_8 необходимо записать уравнение в конечном виде $L_8 = L_5 - K_3$. Откуда $L_8 = 30 - 18 = 12$ мм.

Из уравнения для верхнего предельного отклонения замыкающего звена K_3 находится неизвестное предельное отклонение искомого звена.

$ES_{K_3} = ES_{L_5} - EI_{L_8}$, откуда $0,43 = 0 - EI_{L_8}$. Окончательно $EI_{L_8} = -0,43$ мм.

Из уравнения для нижнего предельного отклонения замыкающего звена K_3 находится второе предельное отклонение искомого звена.

$EI_{K_3} = EI_{L_5} - ES_{L_8}$, откуда $0 = -0,25 - ES_{L_8}$. Окончательно $ES_{L_8} = -0,25$ мм.

Проверка правильности определения предельных отклонений искомого звена по выражению (10)

$$TL_8^* = ES_{L_8} - EI_{L_8} = -0,25 - (-0,43) = 0,18 \text{ мм.}$$

Поскольку допуск TL_8^* совпал с его табличным значением из табл. 12, значит, предельные отклонения размера L_8 определены правильно.

Следующее уравнение, которое можно решить, содержит припуск $Z_{5\min}$. Уже известно, что для его решения нужно использовать способ предельных значений. На первом этапе необходимо записать уравнение для минимального значения замыкающего звена $Z_{5\min} = L_{5\min} + L_{6\min} - L_{7\max}$. После подстановки известных значений будем иметь $0,45 = 29,75 + L_{6\min} - 76$. Откуда $L_{6\min} = 76 + 0,45 - 29,75 = 46,7$ мм. Далее можно определить наибольшее предельное значение этого звена по известному выражению $L_{6\max} = L_{6\min} + TL_6$. Откуда следует зависимость $L_{6\max} = 46,7 + 0,25 = 46,95$ мм. Окончательно можно записать рассчитанный технологический размер с учетом расположения поля допуска в тело детали $L_6 = 46,95_{-0,25}$ мм.

Следующее уравнение, которое можно решить, содержит припуск $Z_{4\min}$. Сначала необходимо записать уравнение для минимального значения замыкающего звена $Z_{4\min} = L_{4\min} - L_{5\max} - L_{6\max}$. После подстановки известных значений оно примет вид $1,3 = L_{4\min} - 30 - 46,95$. Откуда получим $L_{4\min} = 78,25$ мм. Далее определяем наибольшее предельное значение этого звена по выражению $L_{4\max} = L_{4\min} + TL_4$. Откуда следует зависимость $L_{4\max} = 78,25 + 0,19 = 78,44$ мм. Окончательно записываем рассчитанный технологический размер с учетом расположения поля допуска в тело детали $L_4 = 78,44_{-0,19}$ мм.

Следующее уравнение, которое можно решить, содержит припуск $Z_{2\min}$. Сначала необходимо записать уравнение для минимального значения замыкающего звена $Z_{2\min} = L_{3\min} - L_{4\max}$. После подстановки известных значений оно примет вид $0,45 = L_{3\min} - 78,44$. Откуда получим

$L_{3\min} = 78,89$ мм. Далее определяем наибольшее предельное значение этого звена по выражению $L_{3\max} = L_{3\min} + TL_3$. Откуда следует зависимость $L_{3\max} = 78,89 + 0,74 = 79,63$ мм. Окончательно записываем рассчитанный технологический размер с учетом расположения поля допуска в тело детали $L_3 = 79,63_{-0,74}$ мм.

Следующее уравнение, которое можно решить, содержит припуск $Z_{1\min}$. Сначала необходимо записать уравнение для минимального значения замыкающего звена $Z_{1\min} = L_{1\min} - L_{3\max}$. После подстановки известных значений оно примет вид $1,3 = L_{1\min} - 79,63$. Откуда получим $L_{1\min} = 80,93$ мм. Далее определяем наибольшее предельное значение этого звена по выражению $L_{1\max} = L_{1\min} + TL_1$. Откуда следует зависимость $L_{1\max} = 80,93 + 3,2 = 84,13$ мм. Окончательно размер L_1 поковки следует записать так, как предельные отклонения располагаются согласно требованиям ГОСТ 7505–89. Запись будет следующей $L_1 = 82,03^{+2,1}_{-1,1}$ мм. Желательно округлить данный размер до значения, кратного 0,5. Тогда можно записать новое значение $L_1 = 82,0^{+2,1}_{-1,1}$ мм.

При этом $Z_{1\min}$ уменьшится с 1,3 мм до 1,27 мм, что допустимо с практической точки зрения.

Последнее уравнение содержит припуск $Z_{3\min}$. Сначала необходимо записать уравнение для минимального значения замыкающего звена $Z_{3\min} = L_{4\min} - L_{5\max} - L_{2\max}$. После подстановки известных значений оно примет вид $1,3 = 78,25 - 30 - L_{2\max}$. Откуда получим $L_{2\max} = 46,95$ мм. Далее определяем наименьшее предельное значение рассчитываемого звена по выражению $L_{2\max} = L_{2\min} + TL_2$. Откуда следует известная зависимость $L_{2\min} = 46,95 - 2,8 = 44,15$ мм. Окончательно размер L_2 поковки следует записать аналогично записи размера L_1 . В этом случае запись будет следующей: $L_2 = 45,15^{+1,8}_{-1,0}$ мм. Желательно округлить данный размер до значения, кратного 0,5 в меньшую сторону. Тогда можно записать новое значение $L_2 = 45,0^{+1,8}_{-1,0}$ мм. При этом $Z_{1\min}$ увеличится с 1,3 мм до 1,45 мм, что допустимо при выполнении предварительной обработки по корке.

Окончательно все рассчитанные размеры можно представить в виде таблицы. В табл. 14 приведен порядок расчета уравнений и записаны технологические размеры в виде, необходимом для указания их на картах эскизов.

Таблица 14

Результаты расчета уравнений размерных цепей

Уравнение замыкающего звена	Определяемое звено	Порядок расчета	L_{\max}	L_{\min}	Операционный размер
$K_1 = L_7$	L_7	1	76	75,81	$76_{-0,19}$
$K_2 = L_5$	L_5	2	30	29,75	$30_{-0,25}$
$K_3 = L_5 - L_8$	L_8	3	11,75	11,57	$12_{-0,43}^{-0,25}$
$Z_1 = L_1 - L_3$	L_1	7	84,1	80,9	$82,0_{-1,1}^{+2,1}$
$Z_2 = L_3 - L_4$	L_3	6	79,63	78,89	$79,63_{-0,74}$
$Z_3 = L_4 - L_5 - L_2$	L_2	8	46,8	44,0	$45,0_{-1,0}^{+1,8}$
$Z_4 = L_4 - L_5 - L_6$	L_4	5	78,44	78,25	$78,44_{-0,19}$
$Z_5 = L_5 + L_6 - L_7$	L_6	4	46,95	46,7	$46,95_{-0,25}$

7. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

7.1. Аналитический метод расчета минимальных припусков

При определении диаметральных размеров по ходу механической обработки необходимо иметь в виду то обстоятельство, что технологические размеры отдельных поверхностей не оказывают взаимного влияния в ходе обработки. Следовательно, расчетные процедуры выполняются независимо для каждой поверхности.

Зная планы обработки этих поверхностей, можно определить их технологические параметры на каждом проектируемом переходе. К этим параметрам относятся шероховатость поверхности (R_z), глубина дефектного слоя (h), пространственное отклонение обрабатываемой поверхности относительно базовой (ρ) и погрешность установки заготовки в приспособление (ε). Значения этих величин непосредственно влияют на величину минимального припуска (Z_{\min}) на соответствующей поверхности. Параметр Z_{\min} определяется расчетно-аналитическим методом по формуле проф. Кована. Зависимость имеет следующий вид:

$$Z_{\min i} = R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}. \quad (12)$$

В формуле (12) значения $R_{z(i-1)}$ и $h_{(i-1)}$ соответствуют шероховатости и глубине дефектного слоя на предыдущем переходе.

Значение пространственного отклонения $\rho_{(i-1)}$ на предыдущем переходе необходимо определить при помощи следующего выражения:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{эксц}}^2}, \quad (13)$$

где $\rho_{\text{см}}$ — смещение половин штампа по табл. П.9;

$\rho_{\text{эксц}}$ — эксцентриситет прошитого отверстия по табл. П.0.

Величина $\rho_{\text{см}}$ будет иметь самостоятельное значение в расчетной зависимости (12) лишь при условии, если плоскость разреза штампа проходит по границе сопряженных цилиндрических участков разных диаметров. В случае если эта плоскость располагается в пределах длины участка наибольшего диаметра, значение $\rho_{\text{см}}$ будет составляющей величины допуска данной поверхности и не войдет в формулу (12) для определения минимальных припусков. Следовательно, поле допуска данного цилиндрического участка должно выбираться из условия, что эта поверхность формируется в разных половинах штампа. При этом все остальные цилиндрические поверхности будут формироваться в одной половине штампа без учета влияния $\rho_{\text{см}}$.

Если отверстие получается сверлением в сплошном материале, то величину ρ можно вычислить по формуле

$$\rho = \sqrt{(\Delta_y \cdot L)^2 + C_o^2}, \quad (14)$$

где C_o — смещение оси отверстия после сверления по табл. П.12;

Δ_y — величина увода оси отверстия после сверления по табл. П.12.

На каждом последующем переходе при обработке цилиндрической поверхности параметр ρ уменьшается на величину коэффициента уточнения K_y (табл. П.14). При этом остаточное отклонение $\rho_{\text{ост}}$ определяется по формуле

$$\rho_{\text{ост}i} = K_y \cdot \rho_{i-1}. \quad (15)$$

Значение погрешности установки на данном переходе ε_i будет определяться при помощи следующего выражения:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2}, \quad (16)$$

где ε_6 — погрешность базирования заготовки;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ — погрешность закрепления заготовки по табл. П.11.

Примечание: ε_6 при установке в самоцентрирующем приспособлении равна нулю, т. к. технологическая и измерительная базы совпадают.

Параметр $\varepsilon_{\text{закр}}$ определяется на выполняемом переходе и зависит от вида установочного элемента приспособления и состояния базо-

вой поверхности заготовки на данном установе. Эта величина принимается из справочных таблиц. Если заготовка на данном установе обрабатывается больше одного раза, то первоначальная табличная величина $\epsilon_{\text{закр}}$ уменьшается в соответствии со следующей эмпирической зависимостью:

$$\epsilon_{\text{закр}(i+1)} = 0,05\epsilon_{\text{закр}i} + \epsilon_{\text{инд}}. \quad (17)$$

Если заготовка при этом не меняет своего положения относительно обрабатывающего инструмента, то $\epsilon_{\text{инд}} = 0$.

По $Z_{\text{мин}}$ определяется его номинальное значение

$$2Z_{\text{ном}i} = 2Z_{\text{мин}i} + Td_{i-1}, \quad (18)$$

где Td_{i-1} — допуск на размер, полученный на предыдущем переходе.

Номинальное значение припуска на первом переходе определяется:

- для наружных поверхностей:

$$2Z_{\text{ном}i} = 2Z_{\text{мин}i} + EI_0; \quad (19)$$

- для внутренних поверхностей:

$$2Z_{\text{ном}i} = 2Z_{\text{мин}i} + ES_0; \quad (20)$$

где EI_0 и ES_0 — нижнее и верхнее предельные отклонения размера.

На основании изложенного теоретического материала нужно определить параметры, входящие в зависимость (12), и далее рассчитать $Z_{\text{мин}}$ и $Z_{\text{ном}}$ для каждого технологического перехода цилиндрических поверхностей 2, 4 и 6. Данную информацию удобно располагать в табличной форме. Значит, на следующем шаге требуется сформировать такие таблицы для всех трех поверхностей. Допуски Td необходимо принимать из табл. П. 6 в соответствии с точностью этапа обработки поверхности.

Исключение составляет поверхность, обрабатываемая с черновой базы на первом переходе. В этом случае допуск на поверхности после этого перехода определится по следующей зависимости:

$$Td_1 = (Td_{\text{заг}} + Td_{\text{обр}}) / 2, \quad (21)$$

где $Td_{\text{заг}}$ — допуск размера на исходной заготовке;

$Td_{\text{обр}}$ — допуск, соответствующий точности первого этапа обработки.

Далее рассматривается алгоритм расчета цилиндрических поверхностей детали (рис. 1) с использованием табличной формы записей результатов расчетных процедур.

При рассмотрении шестой поверхности учитываются следующие особенности. Параметр $\rho_{\text{см}}$ отсутствует в качестве самостоятельной величины, поскольку поверхность формируется в разных половинах штампа и $\rho_{\text{см}}$ учитывается в допуске данного размера на исходной заготовке. Параметр $\varepsilon_6 = 0$, а $\varepsilon_{\text{закр}}$ принимается по таблице справочника. Допуск на первом переходе определяется по зависимости (24), поскольку данная поверхность обрабатывается с черновой базы и точность первого этапа принята по 13-му качеству. Все остальные параметры берутся из соответствующих справочных таблиц. Необходимые расчеты производятся по формулам (12), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20).

Таблица 15

Технологические параметры для шестой поверхности

№	Наименование перехода	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε , мкм	Td , мм	Z_{min} , мм	$2Z_{\text{ном}}$, мм
0	Заготовка	200	250	—	—	+2,4 —1,2	—	—
1	Точить однократно	50	50	—	500	2,1	0,95	3,1

При рассмотрении четвертой поверхности учитываются следующие особенности. Параметр $\rho_{\text{см}}$ отсутствует в качестве самостоятельной величины, поскольку поверхность формируется в одной половине штампа, а плоскость разреза проходит по цилиндрическому участку наибольшего диаметра. Параметр $\varepsilon_6 = 0$, а $\varepsilon_{\text{закр}}$ принимается по таблице справочника с учетом базирования по уже обработанной поверхности и уменьшается в соответствии с формулой (15). Допуск на первом переходе определяется в соответствии с точностью первого этапа обработки, поскольку данная поверхность обрабатывается с чистовой базы. Все остальные параметры берутся из соответствующих справочных таблиц. Необходимые расчеты производятся по формулам (12), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20).

Таблица 16

Технологические параметры для четвертой поверхности

№	Наименование перехода	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε , мкм	Td , мм	Z_{min} , мм	$2Z$, мм
0	Заготовка	200	250	—	—	+2,1 —1,1	—	—
1	Точить предварительно	50	50	—	70	0,35	0,52	2,15
2	Точить окончательно	25	25	—	4	0,14	0,11	0,57
4	Шлифовать однократно	10	20	—	30	0,054	0,08	0,30

При рассмотрении второй поверхности учитываются следующие особенности. Параметр $\rho_{см}$ учитывается в допуске данного размера на исходной заготовке, поскольку стержни, формирующие отверстие, находятся в разных половинах штампа. В качестве самостоятельной величины рассматривается величина $\rho_{эксц}$, поскольку речь идет о смещении прошитого отверстия относительно наружной базовой поверхности. Параметр $\varepsilon_6 = 0$, а $\varepsilon_{закр}$ принимается по таблице справочника с учетом базирования по необработанной поверхности на установе А и по обработанной поверхности на установе Б. Допуск на первом переходе определяется по зависимости (21), поскольку данная поверхность обрабатывается с черновой базы, и точность первого этапа принята по 12-му качеству. Все остальные параметры берутся из соответствующих справочных таблиц. Необходимые расчеты производятся по формулам (12), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20).

Таблица 17

Технологические параметры для второй поверхности

№	Наименование перехода	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε , мкм	Td , мм	Z_{min} , мм	$2Z$, мм
0	Заготовка	200	250	1500	—	+1,1 —2,1	—	—
1	Расточить предварительно	50	50	90	320	1,75	1,98	5,0
2	Расточить окончательно	20	15	4	35	0,12	0,2	2,15
4	Развернуть однократно	10	20	—	—	0,046	0,065	0,25

Заполнив соответствующие таблицы, необходимо переходить к определению номинальных размеров диаметральных поверхностей на каждом технологическом переходе, начиная с размера готовой детали.

Для решения этой задачи используются следующие формулы:

- для наружных поверхностей

$$D_i = D_{i+1} + 2Z_{i+1}; \quad (22)$$

- для внутренних поверхностей

$$D_i = D_{i+1} - 2Z_{i+1}. \quad (23)$$

Расчет размеров также удобно представить в табличном виде.

Таблица 18

Технологические размеры диаметральных поверхностей

№ пов.	Наименование перехода	$D_{\text{ном}},$ мм	$2Z_{\text{ном}},$ мм	$Td,$ мм	Технологический размер (Di), мм
6	Заготовка	123,1	—	+2,4 -1,2	$123,5^{+2,4}_{-1,2}$
	Точить однократно	120	3,1	2,1	$120_{-2,1}$
4	Заготовка	103,0	—	+2,1 -1,1	$103,0^{+2,1}_{-1,1}$
	Точить предварительно	100,87	2,15	0,54	$100,87_{-0,54}$
4	Точить окончательно	100,3	0,57	0,14	$100,3_{-0,14}$
	Шлифовать предварительно	100,00	0,30	0,054	$100_{-0,054}$
2	Заготовка	72,6	—	+1,1 -2,1	$72,5^{+1,1}_{-2,1}$
	Расточить предварительно	77,6	5,0	1,75	$77,6^{+1,75}$
	Расточить окончательно	79,75	2,15	0,12	$79,75^{+0,12}$
	Развернуть однократно	80,00	0,25	0,046	$80^{+0,046}$

На заключительном этапе формируются размерные схемы процесса обработки каждой цилиндрической поверхности. На них указываются размеры, допуски и припуски после каждого технологического

перехода от детали до исходной заготовки. Для четвертой наружной поверхности схема представлена на рис. 11. Все параметры на схеме представлены в радиусном выражении.

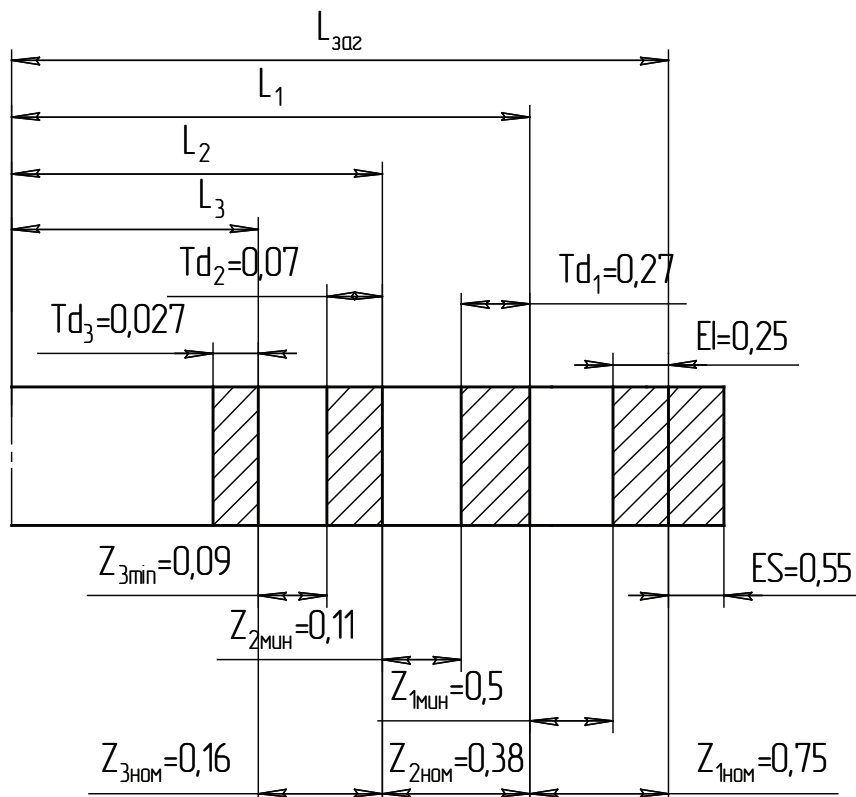


Рис. 11. Размерная схема обработки 4-й поверхности

Для второй внутренней поверхности размерная схема представлена на рис. 12. Все параметры также имеют радиусное выражение.

7.2. Опытно-статистический метод определения припусков

На первом этапе необходимо определить общие припуски на все обрабатываемые цилиндрические поверхности исходной заготовки, используя определенный ранее ее исходный индекс.

На основании исходного индекса, шероховатости поверхности и способа расположения заготовки в штампе назначаются ос-

новные расчетные припуски на обрабатываемые поверхности по ГОСТ 7505–74 (прил. 1, табл. П.1.18).

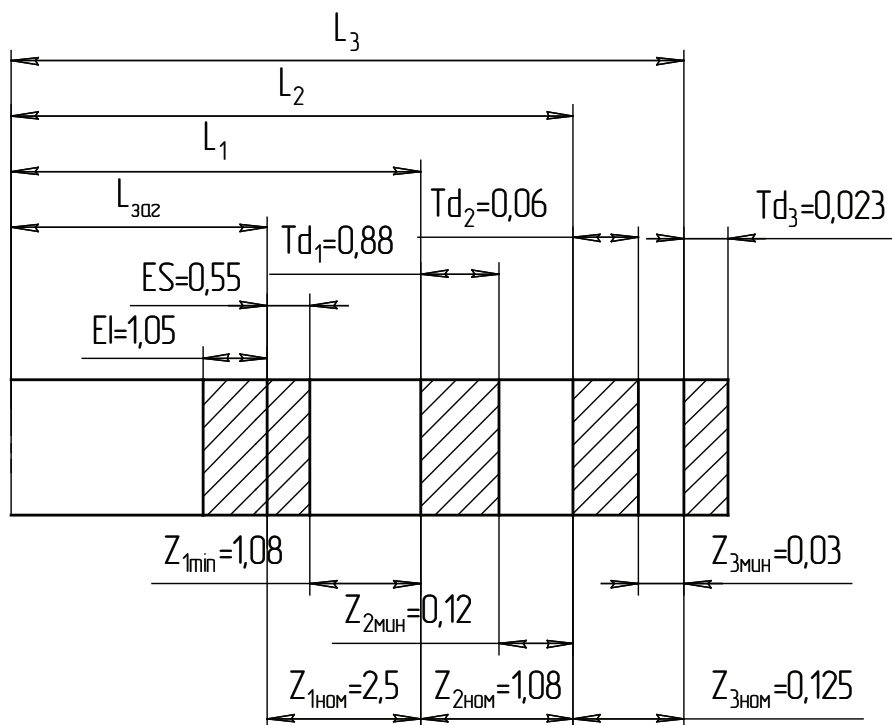


Рис. 12. Размерная схема обработки 2-й поверхности

При этом поверхность, на которой происходит смещение половин штампа или стержней, формирующих сквозное отверстие, должна включать в себя еще и дополнительный припуск, компенсирующий эти смещения. В рассматриваемом случае это будет шестая и вторая поверхности. Для четвертой поверхности припуск можно не учитывать.

Данные по расчетным припускам представлены в табл. 19.

Таблица 19

Общие припуски и размеры исходной заготовки

Номер поверхн.	Размер детали	Расчетный припуск на сторону			Размер на заготовке
		Основной	Дополнит.	Общий	
2	80	2,3	0,3	2,75*	74,5
4	100	2,0	—	2,0	104,0
6	120	2,7	0,3	3,0	126,0

Далее на эти размеры необходимо назначить допуски, руководствуясь теми же правилами. Результаты представлены в табл. 20.

Таблица 20

Результаты назначения допусков

Размер на заготовке	Допуск	Отклонения		Окончательный размер
		Верхнее	Нижнее	
74,5	3,2	1,1	−2,1	$74,5^{+1,1}_{-2,1}$
104,0	3,2	2,1	−1,1	$104,0^{+2,1}_{-1,1}$
125,5	3,6	2,4	1,2	$126,0^{+2,4}_{-1,2}$

Далее необходимо рассматривать планы обработки каждой поверхности и рассчитывать промежуточные размеры.

Предварительно по таблицам экономической точности обработки нужно выбрать номинальные технологические припуски на каждом переходе.

При этом номинальный припуск на первом переходе определится как разность между общим припуском (табл. 19) и суммой припусков на последующих технологических переходах.

$$2Z_{\text{ном}_1} = 2Z_{\text{общ}} - (2Z_{\text{ном}_2} + \dots + 2Z_{\text{ном}_i}). \quad (24)$$

Для определения номинальных размеров на каждом из технологических переходов при наружной обработке расчет начинается с поверхности на детали, используя следующую зависимость:

$$d_i = d_{i+1} + 2Z_{\text{ном}_{i+1}}. \quad (25)$$

При расчете внутренних размеров аналогичная формула будет выглядеть следующим образом:

$$D_i = D_{i+1} - 2Z_{\text{ном}_{i+1}}, \quad (26)$$

где d_i и D_i — размеры, получаемые на данном рассчитываемом переходе;

d_{i+1} и D_{i+1} — размеры, полученные на последующем переходе;

$2Z_{\text{ном}_{i+1}}$ — номинальный припуск на диаметр на последующем переходе.

Для определения глубины резания на каждом из переходов необходимо знание максимального припуска на обработку. Эта величина определяется по следующему выражению:

$$2Z_{\text{max}_i} = 2Z_{\text{ном}_i} + Td_i. \quad (27)$$

При этом для первого перехода наружной поверхности формула будет следующей:

$$2Z_{\max 1} = 2Z_{\text{ном}_1} + Td_1 + ES_0. \quad (28)$$

Для первого перехода при обработке отверстия предыдущее выражение примет вид:

$$2Z_{\max 1} = 2Z_{\text{ном}_1} + Td_1 + EI_0, \quad (29)$$

где ES_0 и EI_0 — верхнее и нижнее предельные отклонения на поверхности исходной заготовки;

Td_1 — допуск размера на данном рассчитываемом переходе.

Результаты вычислений удобно представлять в табличном виде.

Таблица 21

Результаты вычислений

№ перехода	Переход	Td , мм	$2Z_{\text{ном}}$, мм	$2Z_{\max}$, мм	D_i , мм	ES_0 , мм	EI_0 , мм
Поверхность № 2							
0	Заготовка	3,2	5,5*	—	74,5	1,1	−2,1
1	Расточить предварительно	0,3	4,1	6,5	78,6	0,3	0
2	Расточить окончательно	0,12	1,0	1,12	79,6	0,12	0
3	Шлифовать однократно	0,046	0,4	0,45	80	0,046	0
Поверхность № 4							
0	Заготовка	3,2	4,0	—	104,0	2,1	−1,1
1	Точить предварительно	0,35	2,0	4,45	102,0	0	−0,35
2	Точить окончательно	0,14	1,5	1,64	100,5	0	−0,14
3	Шлифовать однократно	0,054	0,5	0,55	100	0	−0,054
Поверхность № 6							
0	Заготовка	3,6	6,0	—	126,0	2,4	1,2
1	Точить однократно	0,35	6,0	8,75	120	0	−0,35

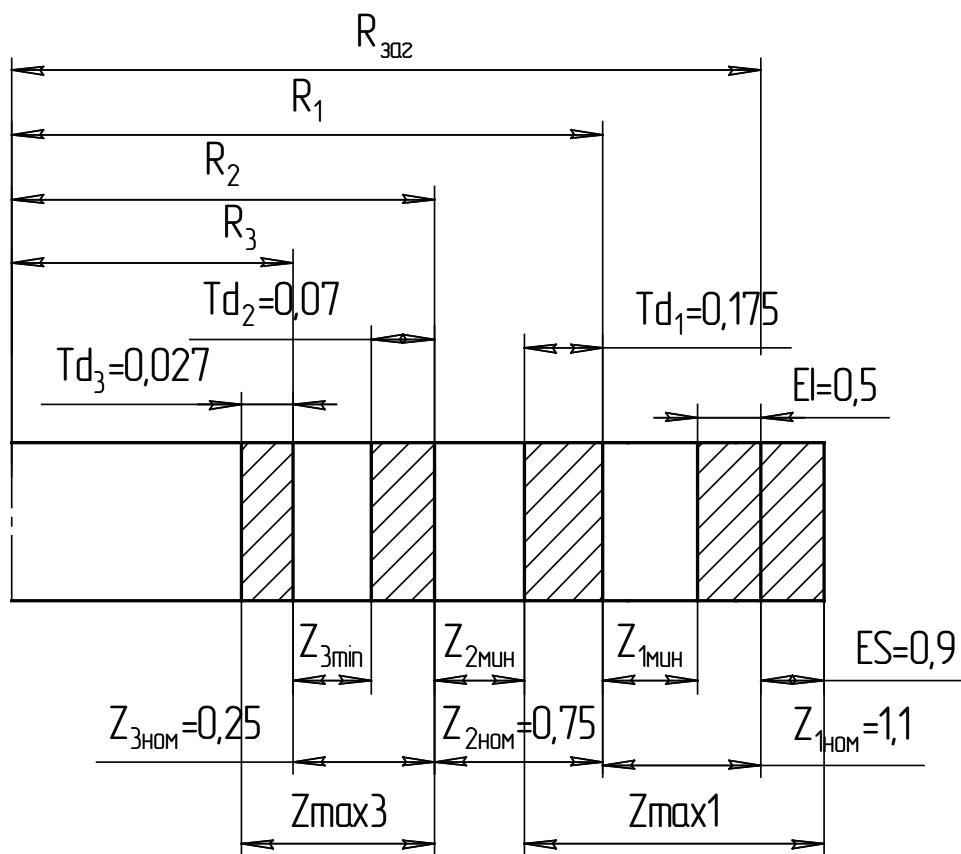


Рис. 13. Размерная схема для четвертой поверхности

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Какова цель размерного анализа?
2. Каковы задачи, решаемые в ходе проведения размерного анализа?
3. Как можно нумеровать обрабатываемые поверхности?
4. Что влияет на выбор исходного индекса штамповки?
5. От чего зависит общий припуск на поверхности штампованной заготовки?
6. От чего зависит допуск на поверхности штампованной заготовки?
7. Какую роль играет принципиальная схема проектирования технологического процесса?
8. Что подразумевается под этапом обработки?
9. Как перейти от назначенных этапов обработки к планам обработки поверхностей?
10. В чем разница между установочной и настроечной базой?
11. Как формируются операции при наличии этапов обработки и планов обработки поверхностей?
12. Каково назначение размерной схемы?
13. Из чего состоит размерная схема технологического процесса?
14. Каков порядок определения поверхностей на размерной схеме?
15. Чем определяется количество вертикальных линий на схеме?
16. Каков порядок простановки размеров на схеме?
17. Каков алгоритм указания технологических размеров на схеме?
18. Каков алгоритм указания припусков на схеме?
19. Как проверяется правильность построения размерной схемы?

20. Дайте определение графа, маршрута, цепи, цикла.
21. Что такое связный неориентированный граф?
22. Какие звенья размерных цепей входят в исходный граф?
23. Какие звенья размерных цепей входят в производный граф?
24. Какова методика построения исходного графа?
25. Какова методика построения производного графа?
26. Какие есть правила проверки правильности построения графов?
27. В каком порядке необходимо записывать вершины исходного графа, принадлежащие замыкающему звену?
28. В каком порядке записывается последовательность вершин производного графа при следовании по нему от начальной вершины к конечной вершине, связанных замыкающим звеном?
29. Как определяется знак составляющего звена и записываются уравнения размерных цепей?
30. Как строится графическая схема размерной цепи?
31. Как первоначально задаются допуски на технологические размеры?
32. Как производится проверка обеспечения точности конструкторских размеров?
33. Когда важна проверка размерной цепи, в которой замыкающим звеном является припуск?
34. Как можно корректировать технологический процесс, если результат любой из проверок отрицательный?
35. В каких пределах можно корректировать допуски на технологические размеры?
36. Какие звенья являются замыкающими в размерных цепях?
37. Какие основные способы применяются при расчете технологических размерных цепей?
38. Что такое запас точности конструкторского размера и как он определяется?
39. Как проверяется правильность расчета размерной цепи с замыкающим звеном в виде конструкторского размера?
40. Что определяется при расчете размерной цепи по способу предельных отклонений?
41. Какое основное уравнение применяется при расчете размерных цепей с замыкающим звеном в виде припуска?
42. Как определяется порядок расчета сформированных размерных цепей?

43. Какие параметры входят в формулу по определению минимального припуска?
44. Что представляет собой пространственное отклонение в формуле, определяющей величину минимального припуска?
45. Что образует погрешность установки в формуле по определению минимального припуска?
46. Как определяются номинальные припуски на технологических переходах?
47. Как определяется номинальный припуск на первом переходе при использовании расчетно-аналитического метода определения припуска?
48. Как определяется номинальный припуск на первом переходе при использовании опытнo-статистического метода определения припуска?
49. Как определяются номинальные размеры на технологических переходах?
50. Как определяется максимальный припуск на первом технологическом переходе?
51. Как определяется максимальный припуск на технологических переходах кроме первого?
52. Каков механизм формирования размерной схемы при обработке основного отверстия?
53. Каков механизм формирования размерной схемы при обработке наружной цилиндрической поверхности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Анализ чертежа детали и формирование маршрутного описания технологического процесса

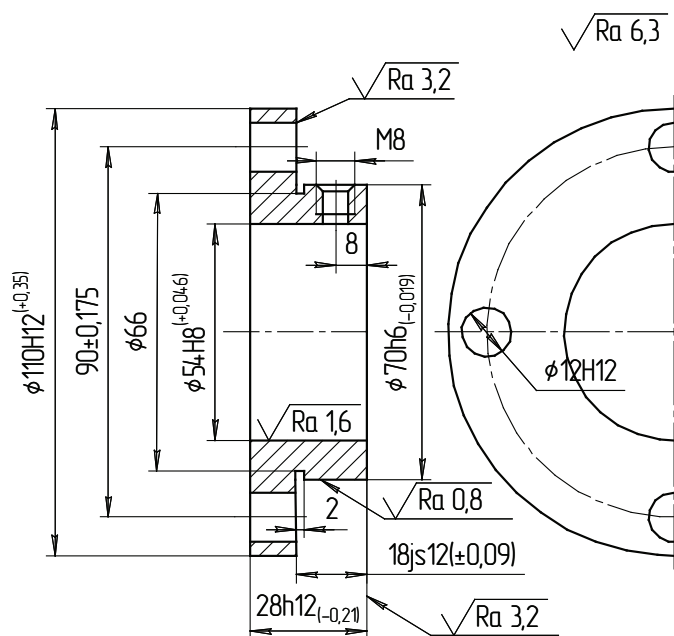
Задание: по заданному варианту чертежа детали и иллюстрациям к процессу ее обработки пронумеровать поверхности и сформировать стартовую структуру технологического процесса в виде маршрутного описания.

Цель работы: овладение навыками разработки маршрутного описания технологического процесса.

Порядок выполнения работы

На основании чертежа детали (рис. Л.1), иллюстраций технологического процесса (рис. Л.3, Л.4) и серийного типа производства необходимо назначить операции и выбрать технологическое оборудование для их выполнения.

Руководствуясь чертежом детали, необходимо пронумеровать обрабатываемые поверхности детали. Для выполнения этого задания используем правила, сформулированные в параграфе 1.3, но номера цилиндрических поверхностей уменьшаются от большего диаметра к меньшему. Пример нумерации детали представлен на рис. Л.2.



1. H14, h14, $\pm T14/2$
2. Неуказанные радиусы скруглений 1,5 мм
3. Острые кромки притупить
4. Масса детали 1,2 кг.
5. Материал Сталь20

Рис. Л.1. Чертеж детали

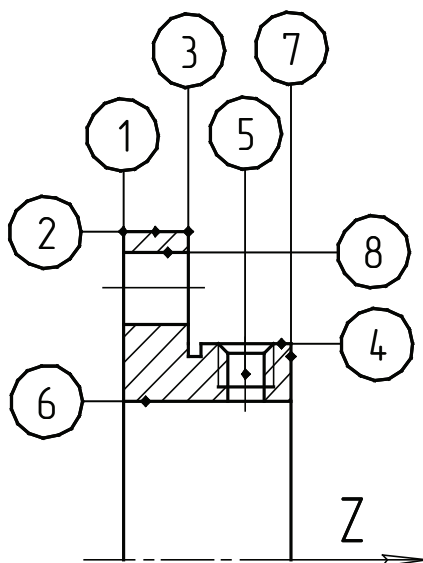


Рис. Л.2. Нумерация обрабатываемых поверхностей

Большинство поверхностей детали требуют механической обработки, и в условиях среднесерийного производства рационально использовать предварительно настроенное оборудование. Следовательно, все размеры в процессе обработки на каждой операции должны получаться автоматически. Для этого режущий инструмент должен настраиваться от установочных баз приспособления или от настроечных баз на заготовке.

Данная деталь относится к классу «Диски» поскольку максимальный диаметр превышает длину, а у класса «Втулки» соотношение будет наоборот.

По конфигурации она имеет ступенчатую наружную поверхность и гладкое сквозное отверстие. Данные поверхности являются концентричными и перпендикулярными общей оси. Отклонения расположения этих поверхностей не регламентируются чертежом. Значит, эти параметры находятся в пределах общих допусков на размеры.

Одна из ступеней имеет достаточно высокие точностные и качественные показатели ($h6$ и $Ra0,8$). Для отверстия необходимо обеспечить высокое качество поверхности ($Ra1,6$). Достаточно высокие качественные показатели нужно обеспечить и для двух торцов ($Ra3,2$). Кроме этого, деталь имеет несоосные крепежные отверстия, расположенные в разных плоскостях. Одно из этих отверстий содержит резьбовую поверхность.

Следовательно, при реализации технологии механообработки нужно решить следующие технологические задачи:

- 1) обеспечить точность размеров и шероховатостей наружных и внутренних цилиндрических поверхностей;
- 2) обеспечить необходимую точность длин и шероховатостей двух торцовых поверхностей;
- 3) обеспечить точность относительного расположения нескольких вспомогательных отверстий на детали.

Решение первых двух задач достигается соответствующим выбором совокупности методов механической обработки и далее выбором последовательности технологических операций. Решение третьей задачи обеспечивается правильностью ориентации заготовки в системе координат станка с использованием принципа перемены баз.

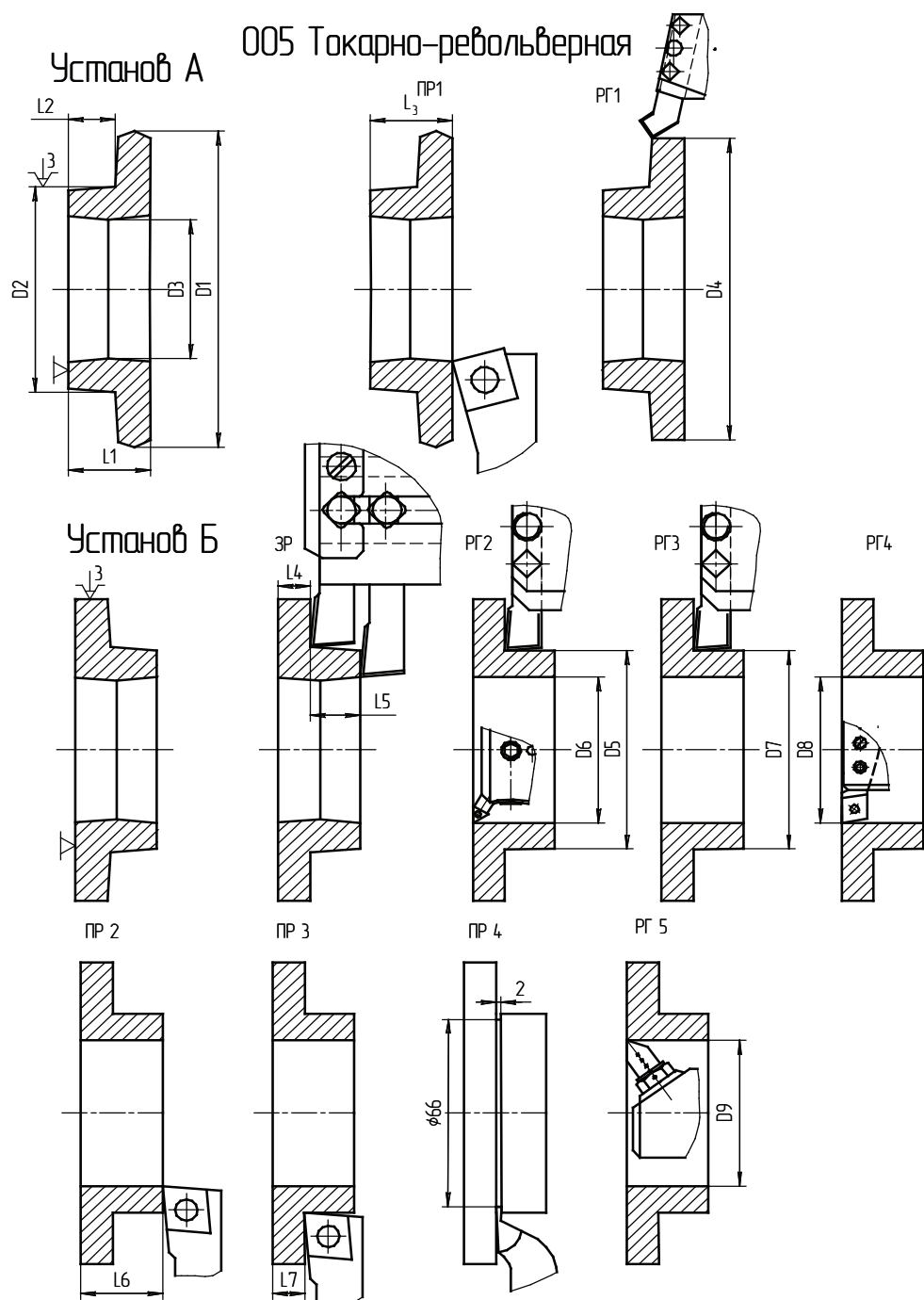


Рис.Л.3. Иллюстрации к токарной операции

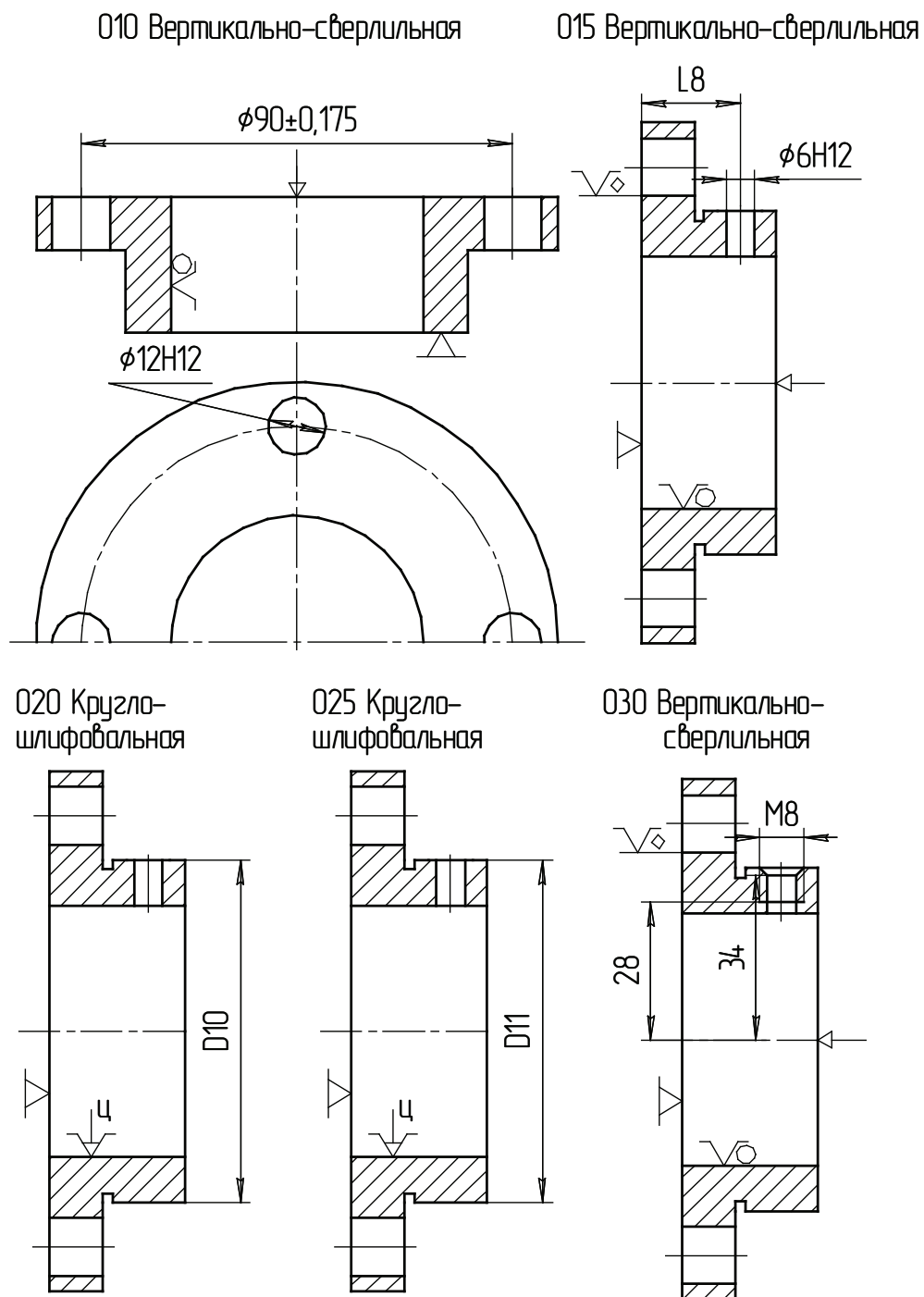


Рис. Л.4. Иллюстрации к сверлильным и шлифовальным операциям

В соответствии с представленными иллюстрациями для данного чертежа необходимо выбрать токарно-револьверный станок для 005 операции, вертикально-сверлильный станок для 010, 015 и 030 операций, кругло-шлифовальный станок для 020 и 025 операций.

Далее необходимо заполнить табл. Л.1 с маршрутным описанием данного технологического процесса.

Таблица Л.1

Маршрут механической обработки заданной детали

№	Название операции	Станок	Содержание операции
005	Токарно-револьверная	1Е340 П	Установ А (подрезать однократно пов.1, точить однократно пов.2) Установ Б (подрезать предварительно пов. 3 и пов. 7, точить предварительно пов. 4 и расточить предварительно пов.6, точить окончательно пов. 4, расточить окончательно пов. 6, под-резать окончательно пов. 7, подрезать окончательно пов. 3, точить канавку, расточить тонко пов. 6)
010	Вертикально-сверлильная	2Н125	(сверлить последовательно 4 отв.)
015	Вертикально-сверлильная	2Н118	(сверлить отверстие пов. 5)
020	Кругло-шлифовальная	3В110	(шлифовать предварительно пов. 4)
025	Кругло-шлифовальная	3Е12	(шлифовать окончательно пов. 4)
030	Вертикально-сверлильная	2Н118	(зенковать, нарезать резьбу пов. 5)

При серийном типе производства заготовка по форме должна быть максимально приближена к форме готовой детали. Поэтому для ее получения желателен пресс КГШП с открытым штампом.

В отчете к лабораторной работе должны быть представлены:

- 1) рабочий чертеж детали;
- 2) нумерация обрабатываемых поверхностей;
- 3) решаемые технологические задачи при обработке;
- 4) таблица Л.1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Моделирование размерных связей технологического процесса

Задание: составить размерную схему технологического процесса вдоль оси Z на основании иллюстраций для обработки детали. Построить графовые модели и сформировать уравнения размерных цепей.

Цель работы: овладение навыками построения размерных схем и графовых моделей. Овладение методикой выявления уравнений размерных цепей.

Порядок выполнения работы

На основании иллюстраций к чертежам из прил. 3 формируется размерная схема технологического процесса вдоль оси Z , которая представлена на рис. Л.5. Данная схема моделирует процесс обработки от исходной заготовки (ИЗ) до готовой детали (Дет) и включает технологические операции 005 и 015.

Проверка построения размерной схемы включает выполнение двух правил.

- 1) На рис. Л.5 количество технологических размеров — 8, количество вершин размерной схемы — 9 (на единицу больше).
- 2) Количество технологических размеров равно сумме количества припусков и конструкторских размеров. В данном примере технологических размеров — 8, припусков — 5, конструкторских размеров — 3.

Следовательно, размерная схема построена правильно.

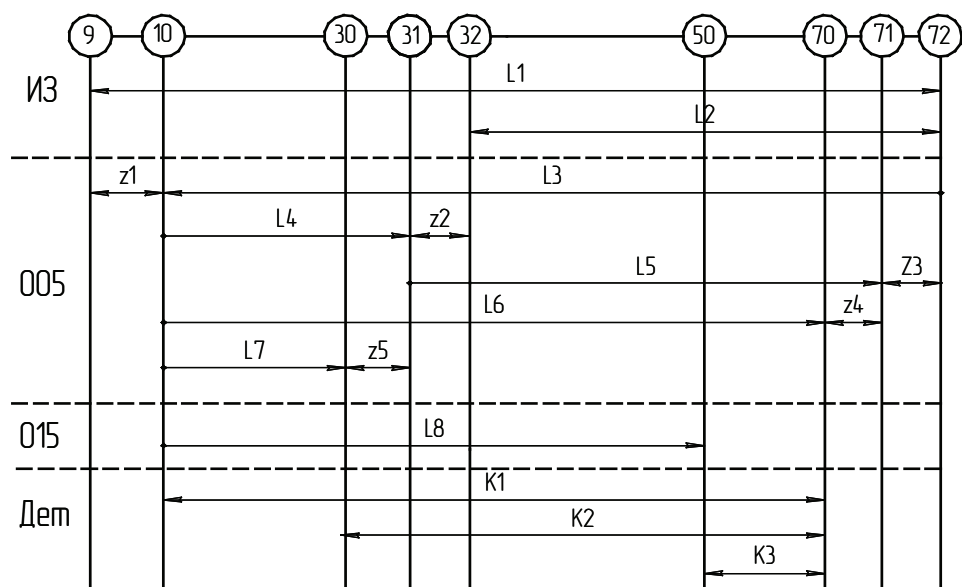


Рис. Л.5. Размерная схема для линейных размеров

На следующем шаге необходимо построить исходный, производный и совмещенный графы для удобства выявления уравнений размерных цепей. Исходный граф для данного маршрута обработки представлен на рис. Л.6. На нем представлены замыкающие звенья в виде конструкторских размеров и минимальных припусков.

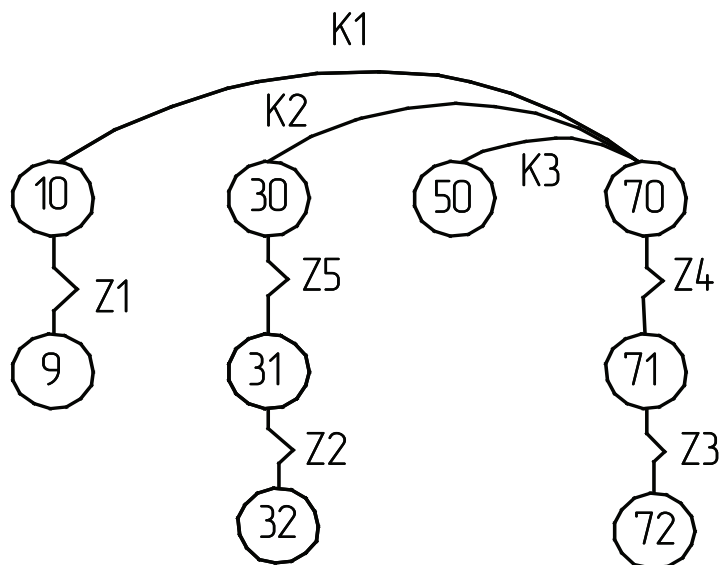


Рис. Л.6. Исходный граф

На построенной графовой модели должны отсутствовать изолированные вершины и не должно быть циклических маршрутов между вершинами. Т. е. к каждой из вершин можно пройти одним неповторяющимся путем. Данный граф соответствует этим правилам.

Производный граф представлен на рис. Л.7. На этой модели представлены все технологические размеры и размеры исходной заготовки. При этом технологические размеры имеют однонаправленные стрелки, показывающие направление от базовой поверхности к обрабатываемой, а двунаправленные стрелки характеризуют размеры исходной заготовки.

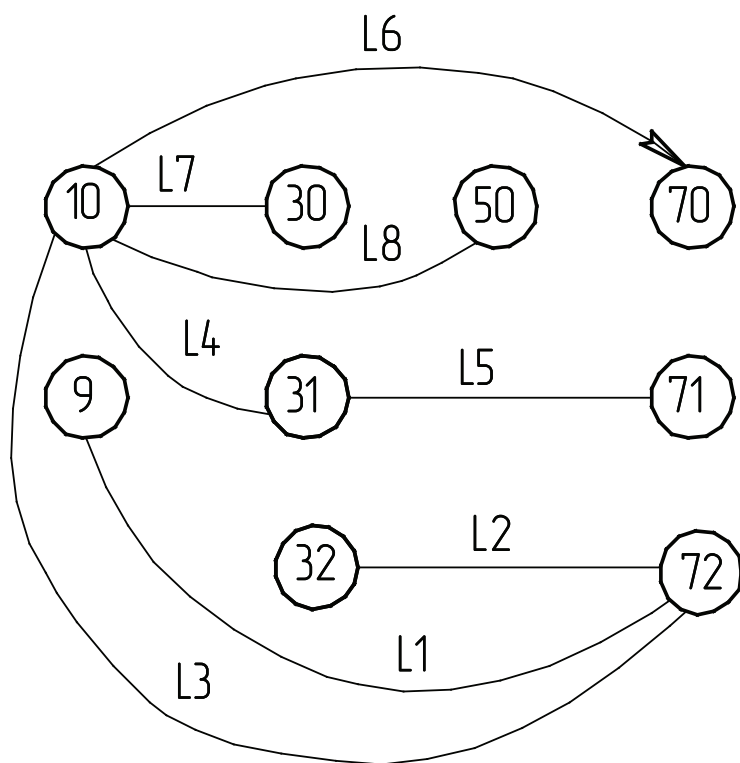


Рис. Л.7. Производный граф

На этом графе не должно быть изолированных вершин и циклических маршрутов. Количество звеньев должно соответствовать их количеству на исходном графе. К каждой вершине, обозначающей обрабатываемую поверхность, должна подходить только одна стрелка за исключением стрелок, относящихся к исходной заготовке.

Построенный производный граф соответствует всем этим критериям.

На заключительном этапе формируется совмещенный граф, получаемый путем наложения производного графа на исходный. Данная структура является обобщенной математической моделью процесса обработки вдоль оси Z . Совмещенный граф представлен на рис. Л.8.

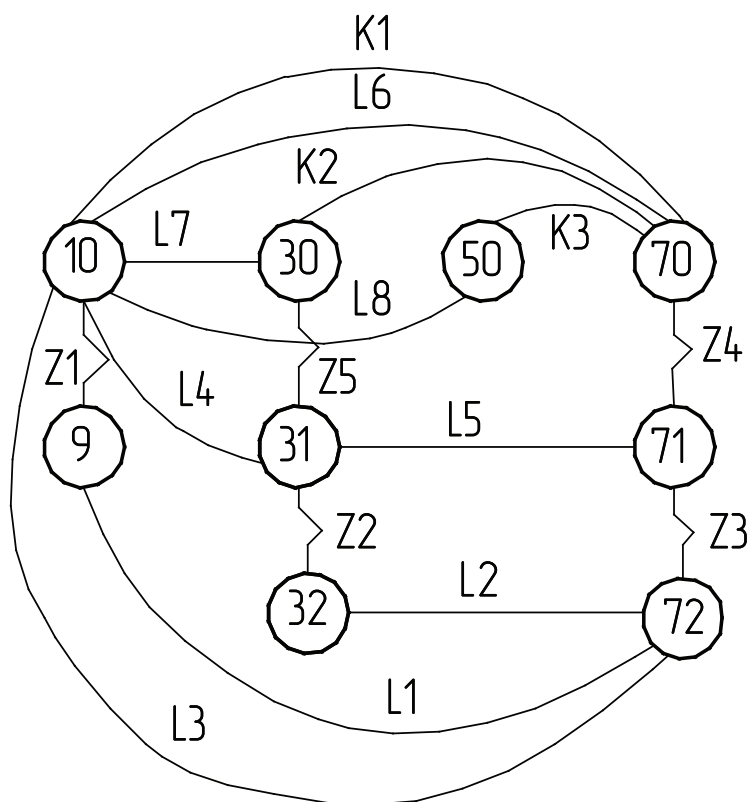


Рис. Л.8. Совмещенный граф

Далее, используя исходный и производный графы, нужно составить канонические уравнения размерных цепей. Для каждого записанного уравнения моделируется сама размерная цепь. Данный алгоритм удобно представить в табличном виде. Таблица должна иметь следующий вид.

Таблица Л.2

Выявление размерных цепей

Замы- кающее звено	Вершины исходного графа	Последователь- ность вершин производного графа	Уравнение размерной цепи	Размерная цепь
K_1	10; 70	10; 70	$-K_1 + L_6 = 0$	
K_2	30; 70	30; 10; 70	$-K_2 - L_7 + L_6 = 0$	
K_3	50; 70	50; 10; 70	$-K_3 - L_8 + L_6 = 0$	
Z_1	9; 10	9; 72; 10	$-Z_1 + L_1 - L_3 = 0$	
Z_2	31; 32	31; 10; 72; 32	$-Z_2 - L_4 + L_3 - L_2 = 0$	
Z_3	71; 72	71; 31; 10; 72	$-Z_3 - L_5 - L_4 + L_3 = 0$	
Z_4	70; 71	70; 10; 31; 71	$-Z_4 - L_6 + L_4 + L_5 = 0$	
Z_5	30; 31	30; 10; 31	$-Z_5 - L_7 + L_4 = 0$	

В отчете к лабораторной работе должны быть представлены:

1) размерная схема; 2) три графовые модели; 3) таблица Л.2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Расчет уравнений размерных цепей

Задание: проверить обеспечение точности получения конструкторских размеров по составленным уравнениям. Определить колебания припусков на чистовых переходах. Рассчитать технологические размеры и размеры исходной заготовки.

Цель работы: овладеть навыками расчета размерных цепей.

Порядок выполнения работы

В качестве исходных данных при выполнении работы будут результаты, полученные при выполнении предыдущего задания.

Перед началом выполнения работы необходимо задаться точностью выполнения технологических размеров в соответствии с точностью соответствующего этапа обработки. Допуски для размеров исходной заготовки определяются по методике, изложенной на стр. 11 данного пособия, а справочные материалы представлены в табл. П.1, П.2, П.3, П.4 и П.5. Значения допусков нужно принять по табл. П.6 и оформить в виде следующей таблицы.

Группа материала — М1, степень сложности поковки — С2, степень точности поковки — Т5, исходный индекс — 12. Масса поковки — 1 кг.

Таблица Л.3

Точность технологических размеров

Технологические размеры	Этап обработки	Точность до корректировки		Точность после корректировки	
		Квалитет	Допуск	Квалитет	Допуск
$L1$	заготовительный	—	2,0		
$L2$	заготовительный	—	2,0		
$L3$	I	13	0,39		
$L4$	I	13	0,27		
$L5$	I	13	0,33		
$L6$	II	11	0,13	10	0,084
$L7$	II	11	0,09		
$L8$	I	14	0,52	12	0,21

1. Проверка точности получения конструкторских размеров

В рассматриваемом примере присутствуют три конструкторских размера, следовательно, нужно выполнить три проверки, используя формулу (4).

$$TK_1 \geq TL_6,$$

$$0,21 \geq 0,13.$$

Условие обеспечения точности размера K_1 выполнено.

$$TK_2 \geq TL_6 + TL_7,$$

$$0,18 \geq 0,13 + 0,09.$$

Условие обеспечения точности размера K_2 не выполнено. В качестве мероприятия по устранению данного несоответствия в первую очередь нужно попробовать ужесточить точность технологического размера L_6 до 10 квалитета, но не выходя за пределы точности соответствующего этапа обработки. Данную коррекцию необходимо зафиксировать в табл. Л.3 в колонке «после корректировки».

$$0,18 \geq 0,084 + 0,09.$$

Условие выполнено.

$$TK_3 \geq TL_6 + TL_8,$$

$$0,36 \geq 0,084 + 0,52.$$

Условие обеспечения точности размера K_3 не выполнено. Значит, нужно ужесточить точность технологического размера L_8 до 12 квалитета.

$$0,36 \geq 0,084 + 0,21. \text{ Условие выполнено.}$$

Результаты проведенных проверок необходимо оформить в виде табл. Л.4, где учитывается получившийся запас точности по каждому из размеров.

Таблица Л.4

Запасы точности конструкторских размеров

Размер по чертежу	Запас точности	Размер при расчете
$K_1 = 28_{-0,21}$	0,126	$28_{-0,084}$
$K_2 = 18 \pm 0,09$	0,006	$18 \pm 0,087$
$K_3 = 8 \pm 0,18$	0,066	$8 \pm 0,147$

2. Определение колебаний припусков

Для определения величин колебаний припусков необходимо сначала определить минимальные припуски для всех торцовых поверхностей табличным методом, используя табл. П.7, и занести в табл. Л.5.

Таблица Л.5

Минимальные припуски, мм

Z_{1min}	Z_{2min}	Z_{3min}	Z_{4min}	Z_{5min}
1,3	1,3	1,3	0,45	0,45

Условие проверки допустимых колебаний припусков в ходе обработки определяется по формулам (8).

- 1) $wZ_1 = TL_1 + TL_3 = 2,0 + 0,39 = 2,39 \text{ мм};$
- 2) $wZ_2 = TL_2 + TL_3 + TL_4 = 2,0 + 0,39 + 0,27 = 2,66 \text{ мм};$
- 3) $wZ_3 = TL_3 + TL_4 + TL_5 = 0,39 + 0,27 + 0,33 = 0,99 \text{ мм};$
- 4) $wZ_4 = TL_4 + TL_5 + TL_6 = 0,27 + 0,33 + 0,084 = 0,68 \text{ мм};$
- 5) $wZ_5 = TL_4 + TL_7 = 0,27 + 0,09 = 0,36 \text{ мм}.$

На следующем шаге необходимо определить максимальные значения припусков по формулам (7).

- 1) $Z_{1max} = 1,3 + 2,39 = 3,69 \text{ мм};$
- 2) $Z_{2max} = 1,3 + 2,66 = 3,96 \text{ мм};$
- 3) $Z_{3max} = 1,3 + 0,99 = 2,29 \text{ мм};$

4) $Z_{4\max} = 0,45 + 0,68 = 1,13 \text{ мм};$

5) $Z_{5\max} = 0,45 + 0,36 = 0,81 \text{ мм}.$

Далее необходимо рассчитать отношения по формулам (6).

1) $Z_{1\max}/Z_{1\min} = 3,69/1,3 = 2,84 \leq 3;$

2) $Z_{2\max}/Z_{2\min} = 3,96/1,3 = 3,05 > 3;$

(это предварительный переход);

3) $Z_{3\max}/Z_{3\min} = 2,29/1,3 = 1,76 \leq 3;$

4) $Z_{4\max}/Z_{4\min} = 1,13/0,45 = 2,52 \leq 3;$

5) $Z_{5\max}/Z_{5\min} = 0,81/0,45 = 1,80 \leq 3.$

Если неравенства в зависимостях (6) не выполняются для окончательных переходов, то необходимо ужесточить точность технологических размеров, входящих в уравнение (8), и внести соответствующие коррективы в табл. Л.3.

Результаты выполненных проверок необходимо оформить в виде табл. Л.6.

Таблица Л.6

Значения припусков

$Z_i, \text{ мм}$	$Z_{i\min}, \text{ мм}$	$\omega Z_i, \text{ мм}$	$Z_{i\max}, \text{ мм}$	$Z_{i\max}/Z_{i\min}$
Z_1	1,3	1,79	3,09	$2,84 \leq 3$
Z_2	1,3	2,06	3,36	$3,05 > 3$
Z_3	1,3	0,99	2,29	$1,76 \leq 3$
Z_4	0,45	0,68	1,31	$2,52 \leq 3$
Z_5	0,45	0,36	0,81	$1,80 \leq 3$

3. Определение технологических размеров

Расчет начинается с уравнения с замыкающим конструкторским звеном, где присутствует один неизвестный технологический размер. Это двухзвенная цепь. В данном случае параметры неизвестного технологического размера будут равны аналогичным параметрам конструкторского размера.

Рассмотрим расчет для размера L_6 .

$$L_6 = K_1 = 28_{-0,084} \text{ мм}.$$

Найденный технологический размер вычеркивается во всех размерных цепях, и находится следующая цепь, в которой неизвестным окажется один технологический размер, и так далее.

Если в технологической цепи с замыкающим конструкторским размером получается больше двух параметров, то такое уравнение решается методом отклонений. Так, для определения размера L_7 (табл. Л.2 из предыдущего задания) уравнения будут иметь следующий вид:

$$L_{7\text{ ном}} = L_{6\text{ ном}} - K_{2\text{ ном}} = 28 - 18 = 10 \text{ мм.}$$

$$ES(K_2) = ES(L_6) - EI(L_7).$$

$$EI(L_7) = ES(L_6) - ES(K_2) = 0 - 0,087 = -0,087 \text{ мм.}$$

$$EI(K_2) = EI(L_6) - ES(L_7).$$

$$ES(L_7) = EI(L_6) - EI(K_2) = -0,084 - (-0,087) = 0,003 \text{ мм.}$$

$$L_7 = 10^{+0,003}_{-0,087} \text{ мм.}$$

Аналогичным методом можно решить третье уравнение из табл. Л.2 второй лабораторной работы и определить размер L_8 . Окончательно значение этого параметра для решаемого примера будет следующим: $L_8 = 20^{+0,063}_{-0,147} \text{ мм.}$

Если замыкающим звеном в цепи является минимальный припуск, то уравнение необходимо решать способом предельных значений. В соответствии с этой методикой можно определить размер L_4 из восьмого уравнения (табл. Л.2 из предыдущего задания).

$$Z_{5\text{ min}} = L_{4\text{ min}} - L_{7\text{ max}}.$$

$$L_{4\text{ min}} = L_{7\text{ max}} + Z_{5\text{ min}}.$$

$$L_{4\text{ min}} = 10,003 + 0,45 = 10,45 \text{ мм.}$$

$$L_{4\text{ max}} = L_{4\text{ min}} + TL_4 = 10,45 + 0,27 = 10,72 \text{ мм.}$$

$$L_4 = 10,72^{+0,27}_{-0,45} \text{ мм.}$$

Далее, с использованием этого метода необходимо решать седьмое уравнение и определять размер L_5 , после этого решить шестое уравнение и найти L_3 . На следующем шаге из четвертого уравнения определить L_1 и в заключение из пятого уравнения найти размер L_2 .

Номинальные размеры на исходной заготовке необходимо округлить до одного знака после запятой в сторону увеличения для наружных поверхностей и в сторону уменьшения для внутренних поверхностей кратно пяти.

Результаты расчетов всех технологических размеров нужно оформить в виде табл. Л.7.

Таблица Л.7

Расчет размерных цепей

Уравнение замыкающего звена	Определяемое звено	Порядок расчета	L_{\max}	L_{\min}	Операционный размер
$K_1 = L_6$	L_6	1	28,000	27,916	$28_{-0,084}$
$K_2 = L_6 - L_7$	L_7	2	10,003	9,913	$10_{-0,087}^{+0,003}$
$K_3 = L_6 - L_8$	L_8	3	20,063	19,853	$20_{-0,147}^{+0,063}$
$Z_{1\min} = L_1 - L_3$	L_1	7	34,04	32,04	$32,74_{-0,7}^{+1,3}$
$Z_{2\min} = L_3 - L_4 - L_2$	L_2	8	18,33	16,33	$17,03_{-0,7}^{+1,3}$
$Z_{3\min} = L_3 - L_4 - L_5$	L_3	6	30,74	30,35	$30,74_{-0,39}$
$Z_{4\min} = L_4 + L_5 - L_6$	L_5	5	18,33	18,00	$18,165 \pm 0,165$
$Z_{5\min} = L_4 - L_7$	L_4	4	10,72	10,45	$10,72_{-0,27}$

В отчете к лабораторной работе должны быть представлены:

1) с учетом среднесерийного характера производства класс точности поковки T_i , расчетная масса поковки $M_{п.р.}$, группа стали M_i , степень сложности C_i и исходный индекс заготовки для открытых штампов КГШП;

2) таблицы Л.3, Л.4, Л.5; Л.6, Л.7.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Расчет технологических размеров диаметральных поверхностей

Задание: для диаметральных поверхностей, обрабатываемых за несколько переходов, рассчитать припуски расчетно-аналитическим методом для каждого перехода, определить технологические размеры на переходах и составить размерные схемы для обработки поверхностей.

Цель работы: практически овладеть расчетно-аналитической или опытно-статистической методикой определения припусков для диаметральных поверхностей и методами расчета технологических диаметральных размеров.

Порядок выполнения работы:

1. Расчет минимальных припусков

Руководствуясь данными первой лабораторной работы, необходимо записать последовательность обработки каждой диаметральной поверхности в виде табл. Л.8 и табл. Л.9.

Далее нужно в эту таблицу занести параметры, влияющие на величину минимального припуска (R_z , h , ρ , ε). Для выполнения этой части задания необходимо воспользоваться данными из табл. П.8, П.9, П.10, П.11, П.12, П.13, П.14, П.15.

На заключительном этапе формирования этих таблиц нужно выполнить расчет минимальных припусков, для каждого технологического перехода используя формулы (15, 16, 17, 18, 19, 20). Результаты

расчетов необходимо занести в последний столбец сформированных таблиц.

Таблица Л.8

Z_{\min} для наружной поверхности 2

№	Наименование перехода	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε , мкм	Z_{\min} , мм
0	Заготовка	160	200	—	—	—
1	Точить однократно	50	50	—	320	0,68

Таблица Л.9

Z_{\min} для внутренней поверхности 6

№	Наименование перехода	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε , мкм	Z_{\min} , мм
0	Заготовка	160	200	1500	—	—
1	Расточить предварительно	50	50	90	350	1,9
2	Расточить окончательно	20	15	3,6	17,5	0,19
3	Расточить тонко	1,6	—	—	—	0,04

Примечание: такие таблицы должны быть созданы для каждой обрабатываемой диаметральной поверхности.

2. Определение диаметральных размеров

Для решения этой задачи используются рассчитанные значения минимальных припусков из предыдущих таблиц. Кроме этого, необходимо определить допуски для каждого технологического перехода из табл. П.6 и занести их значения в четвертый столбец табл. Л.10.

Перед определением технологических размеров нужно рассчитать номинальные припуски ($Z_{\text{ном}}$) на каждом переходе, используя зависимости (20, 21, 22), и результаты расчета занести в пятый столбец табл. Л.10.

Таблица Л.10

Технологические размеры диаметральных поверхностей

№ пов.	Наименование перехода	Z_{\min} , мм	Td , мм	$2Z_{\text{ном}}$, мм	Технологический размер (Di), мм
2	Заготовка	—	$+1,8$ $-1,0$	—	$112,5^{+1,8}_{-1,0}$
	Точить однократно	0,68	1,7	2,4	$110_{-1,7}$
6	Заготовка	—	$+0,8$ $-1,4$	—	$48,5^{+0,8}_{-1,4}$
	Расточить предварительно	1,9	0,3	4,6	$53,12^{+0,3}$
	Расточить окончательно	0,19	0,12	0,68	$53,80^{+0,12}$
	Расточить тонко	0,04	0,046	0,2	$54^{+0,046}$

Представленные таблицы необходимо создать для каждой обрабатываемой диаметральной поверхности, с которой удаляется припуск или которая получена сверлением и подлежит дальнейшей обработке.

Значения, полученные в шестом столбце табл. Л.10, необходимо проставить на иллюстрациях технологического процесса вместо буквенных обозначений диаметров.

3. Построение размерной схемы

На заключительном этапе необходимо создать размерную схему процесса обработки каждой цилиндрической поверхности. На ней необходимо проставить все размеры, допуски и припуски после каждого технологического перехода от поверхности детали до исходной заготовки.

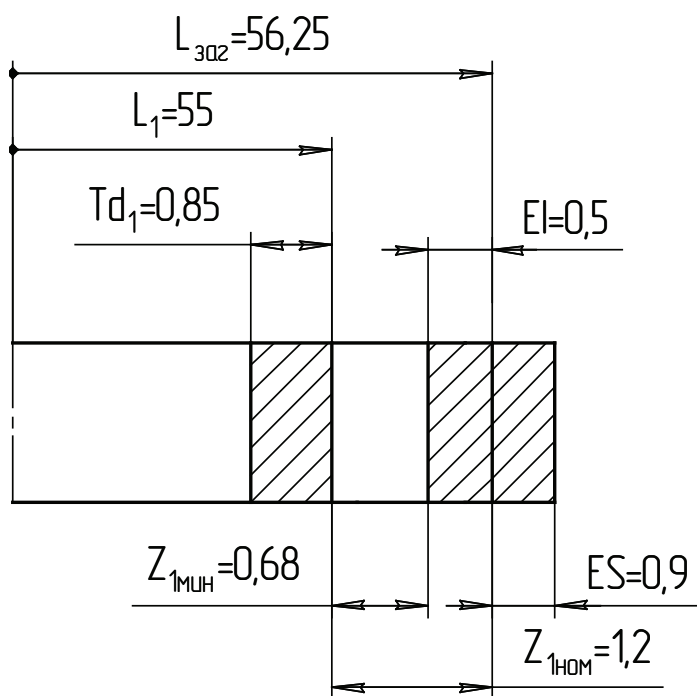


Рис. Л.9. Размерная схема обработки 2-й поверхности (наружная)

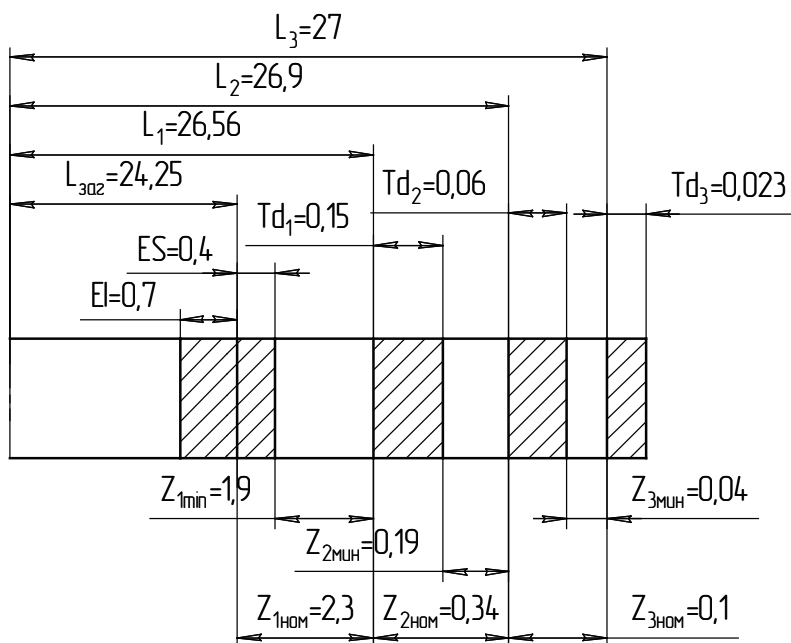


Рис. Л.10. Размерная схема обработки 6-й поверхности (внутренняя)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 2 / под ред. В. Д. Мягкова. 5-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1978. 1032 с., ил.
2. Ашихмин В. Н., Закураев В. В. Размерный анализ при технологическом проектировании : учебное пособие. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2005. 93 с.
3. Ашихмин В. Н. Размерный анализ технологических процессов : практикум. М. : НИЯУ МИФИ, 2010. 60 с.
4. Ашихмин В. Н., Закураев В. В. Автоматизированное проектирование технологических процессов : учебное пособие. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2007. 200 с.
5. САПР в технологии машиностроения: учебное пособие / В. Г. Митрофанов, О. Н. Калачев, А. Г. Схиртладзе [и др.]. Ярославль : Яросл. гос. техн. ун-т, 1995. 298 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сушлова. М. : Машиностроение, 2001. Т. 1. 912 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочный материал

Таблица П.1.1

Выбор класса точности поковок (ГОСТ 7505–89)

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
• открытая (облойная) штамповка				+	+
• закрытая штамповка		+	+		
• выдавливание			+	+	
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Таблица П.1.2

Степени сложности поковок

Степень сложности	Отношение $G_{\text{п}}/G_{\text{ф}}$
C1	Св. 0,63
C2	Св. 0,32 до 0,63 включительно
C3	Св. 0,16 до 0,32 включительно
C4	До 0,16

Таблица П.1.3

Выбор группы стали

Группа стали	Характеристика
М1	Сталь с массовой долей углерода до 0,35 % включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 % включительно
М2	Сталь с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0 % включительно
М3	Сталь с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0 %

Таблица П.1.4

Определение исходного индекса поковки

Масса поковки, кг	Группа стали	Степень сложности поковки	Класс точности поковки					Исходный индекс
	М1	М2	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	
До 0,5 включ.								1
Св 0,5 до 1,0								2
" 1,0" до "1,8"								3
" 1,8" до "3,2"								4
" 3,2" до "5,6"								5
" 5,6" до "10,0"								6
" 10,0" до "20,0"								7
" 20,0" до "50,0"								8
" 50,0" до "125,0"								9
" 125,0" до "250,0"								10
								11
								12
								13
								14
								15
								16
								17
								18
								19
								20
								21
								22
								23

При определении допусков на размеры поковки, при ее известном индексе, необходимо руководствоваться следующим обстоятельством. Если размер на поковке получается в разных половинах штампа, то допуск выбирается по строке «Толщина детали»; если размер получается в одной половине штампа — то по строке «Длина, ширина, диаметр и глубина детали».

Таблица П.1.5

Допуски линейных размеров поковок

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки, мм															
	до 40		40—63		63—100		100—160		160—250		св. 250					
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки, мм															
	до 40		40—100		100—160		160—250		250—400		400—630		630—1000		1000—1600	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,3	+0,2 −0,1	0,4	+0,3 −0,1	0,5	+0,3 −0,2	0,6	+0,4 −0,2	0,7	+0,5 −0,2	—	—	—	—	—	—
2	0,4	+0,3 −0,1	0,5	+0,3 −0,2	0,5	+0,4 −0,2	0,7	+0,5 −0,2	0,8	+0,5 −0,3	0,9	+0,6 −0,3	—	—	—	—
3	0,5	+0,3 −0,2	0,6	+0,4 −0,2	0,7	+0,5 −0,2	0,8	+0,5 −0,3	0,9	+0,6 −0,3	1,0	+0,7 −0,3	1,2	+0,8 −0,4	—	—
4	0,6	+0,4 −0,2	0,7	+0,5 −0,2	0,8	+0,5 −0,3	0,9	+0,6 −0,3	1,0	+0,7 −0,3	1,2	+0,8 −0,4	1,4	+0,9 −0,5	—	—
5	0,7	+0,5 −0,2	0,8	+0,5 −0,3	0,9	+0,6 −0,3	1,0	+0,7 −0,3	1,2	+0,8 −0,4	1,4	+0,9 −0,5	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7
6	0,8	+0,5 −0,3	0,9	+0,6 −0,3	1,0	+0,7 −0,3	1,2	+0,8 −0,4	1,4	+0,9 −0,5	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8
7	0,9	+0,6 −0,3	1,0	+0,7 −0,3	1,2	+0,8 −0,4	1,4	+0,9 −0,5	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9
8	1,0	+0,7 −0,3	1,2	+0,8 −0,4	1,4	+0,9 −0,5	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0
9	1,2	+0,8 −0,4	1,4	+0,9 −0,5	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1
10	1,4	+0,9 −0,5	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2
11	1,6	+1,1 −0,5	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2	4,0	+2,7 −1,3
12	2,0	+1,3 −0,7	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2	4,0	+2,7 −1,3	4,5	+3,0 −1,5
13	2,2	+1,4 −0,8	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2	4,0	+2,7 −1,3	4,5	+3,0 −1,5	5,0	+3,3 −1,7
14	2,5	+1,6 −0,9	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2	4,0	+2,7 −1,3	4,5	+3,0 −1,5	5,0	+3,3 −1,7	5,6	+3,7 −1,9
15	2,8	+1,8 −1,0	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2	4,0	+2,7 −1,3	4,5	+3,0 −1,5	5,0	+3,3 −1,7	5,6	+3,7 −1,9	6,3	+4,2 −2,1
16	3,2	+2,1 −1,1	3,6	+2,4 −1,2	4,0	+2,7 −1,3	4,5	+3,0 −1,5	5,0	+3,3 −1,7	5,6	+3,7 −1,9	6,3	+4,2 −2,1	7,1	+4,7 −2,4

Окончание табл. П.1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
17	3,6	+2,4 -0,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,0	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6
21	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0
22	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4

Таблица П.1.6

Значения допусков, мкм

Интервалы размеров, мм	Квалитет												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
Св. 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
Св. 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
Св. 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
Св. 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
Св. 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
Св. 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
Св. 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
Св. 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
Св. 250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
Св. 315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
Св. 400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Таблица П.1.7

Минимальные припуски на сторону для торцовых поверхностей, мм

Диаметр, мм	Под чистое протачивание после черного протачивания	Под шлифование после чистового протачивания чугунных и стальных сырых и закаленных поверхностей	Под черное протачивание заготовок	
			Горячая штамповка	Чугунное литье
До 50	0,35	0,20	0,9	1,2
50...120	0,45	0,25	1,3	1,6
120...260	0,55	0,30	1,8	2,3
260...500	0,65	0,35	2,1	2,7
Св. 500	0,75	0,40	2,4	3,0

Таблица П.1.8

Качество поверхностей кованных и штампованных заготовок, мкм

Кованая заготовка		Штампованная заготовка		
Наибольший размер заготовки, мм	Параметр $R_z + h$	Масса штампованной заготовки, кг	Параметр R_z	Параметр h
От 50 до 180	750	До 0,25	80	150
Св. 180 до 500	1250	Св. 0,25 до 4	160	200
Св. 500 до 1250	1500	Св. 4 до 25	200	250

Таблица П.1.9

Смещения осей фигур $\Delta_{см}$, штампуемых в разных половинах штампа, мм

Масса, кг	Обработка на молоте		Обработка на прессе и ГKM	
	Крупная серия	Средняя или мелкая серии	Крупная серия	Средняя или мелкая серии
До 0,25	0,4	0,6	0,3	0,5
Св. 0,25 до 0,63	0,5	0,8	0,4	0,6
Св. 0,63 до 1,6	0,6	1,2	0,5	0,7
Св. 1,6 до 2,5	0,8	1,4	0,6	0,8
Св. 2,5 до 4,0	1,0	1,5	0,7	0,9
Св. 4,0 до 6,3	1,1	1,7	0,8	1,0
Св. 6,3 до 10	1,2	2,0	0,9	1,2
Св. 10 до 16	1,3	2,1	1,0	1,3
Св. 16 до 25	1,4	2,3	1,1	1,4

Таблица П.1.10

Эксцентricность отверстия $\Delta_{\text{эц}}$ в кованных и штампованных заготовках, мм

Толщина (высота) или ширина заготовок, мм	Крупная серия	Средняя или мелкая серии
До 50	0,8	1,0
Св. 50 до 120	1,4	1,5
Св. 120 до 180	2,0	2,5
Св. 180 до 260	2,8	3,5
Св. 260 до 360	3,2	4,5
Св. 360 до 500	3,6	5,5

Таблица П.1.11

Погрешность закрепления заготовки в радиальном направлении, мкм

Поперечный размер базовой поверхности, мм	Состояние базы при закреплении в цанге		Состояние базы при закреплении в патроне		
	Предварительно обработанная	Окончательно обработанная	Литая и штампованная	Предварительно обработанная	Окончательно обработанная
Св. 6 до 10	40	20	220	50	25
Св. 10 до 18	50	35	270	60	30
Св. 18 до 130	60	30	320	70	35
Св. 130 до 150	70	35	370	80	40
Св. 150 до 180	80	40	420	100	50
Св. 180 до 200	—	—	500	120	60
Св. 200 до 220	—	—	600	140	70
Св. 220 до 260	—	—	700	160	80
Св. 260 до 360	—	—	800	180	90

Таблица П.1.12

Увод сверла и смещение оси отверстия после сверления

Сверло	Диаметр получаемого отверстия, мм				
	3–6	6–10	10–18	18–30	30–50
Увод Δ_y , мкм на 1 мм длины отверстия					
Спиральное	2,1	1,7	1,3	0,9	0,7
Специальное	1,6	1,3	1,0	0,7	0,4
Смещение оси отверстия C_o от номинала, мкм					
Любое	10	15	20	25	30

Таблица П.1.13

Качество наружных поверхностей кованных и штампованных заготовок после механической обработки

Способ обработки поверхности	Точность поверхности	Высота неровностей R_z , мкм	Дефектный слой h , мкм
Точение:			
– предварительное или однократное;	14–12	50	50
– окончательное	11–10	25	25
Шлифование:			
– предварительное или однократное;	9–8	10	20
– окончательное	7–6	—	—

Таблица П.1.14

Коэффициент уточнения K_y параметра ρ

Вид обработки	Значение параметра
Точение и растачивание предварительное	0,06
Точение и растачивание окончательное после предварительного	0,04
Тонкое точение и растачивание после окончательного	0,02
Зенкерование по корке (черновое)	0,05
Зенкерование после сверления или предварительной обработки	0,005
Шлифование предварительное или однократное после токарной обработки	0,03
Шлифование двукратное после токарной обработки	0,02

Таблица П.1.15

Качество внутренних поверхностей кованных и штампованных заготовок

Способ обработки поверхности	Диаметр отверстия, мм	Точность поверхности	Высота неровностей R_z , мкм	Дефектный слой h , мкм
Сверление спиральным сверлом	От 3 до 6	12	20	40
	Св. 6 до 10		30	50
	Св. 10 до 18		40	60
	Св. 18 до 50		50	70
Глубокое сверление	От 3 до 10	12	15	25
	Св. 10 до 18		20	30
	Св. 18 до 30		30	40
Зенкерование по корке после сверла	От 20 до 30	12	50	40
	Св. 30 до 80		50	50
	До 30		30	30
	Св. 30 до 80	10	30	40
Растачивание: — предварительное или однократное — окончательное	От 50 до 260	12	50	50
	От 50 до 260	10	20	15
Развертывание: — предварительное или однократное; — окончательное	От 6 до 80	8	5	10
	От 6 до 80	7	—	—
Шлифование: — предварительное или однократное; — окончательное		9	5	10
		7	—	—

Таблица П.1.16

Смещение по поверхности разъема штампа

Масса поковки (кг)	Припуски для классов точности, мм							
	Плоская поверхность разъема							
	T1	T2	T3	T4	T5			
			Симметрично изогнутая поверхность разъема					
			T1	T2	T3	T4	T5	
			Несимметрично изогнутая поверхность разъема					
			T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включит.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
Св. 0,5 до 1,0				0,2		0,3		
Св. 1,0 до 1,8			0,2	0,3		0,4		
Св. 1,8 до 3,2		0,2	0,2	0,3		0,4	0,4	0,5
Св. 3,2 до 5,6	0,2	0,3		0,4			0,5	0,6
Св. 5,6 до 10,0			0,3		0,5	0,6	0,7	
Св. 10,0 до 20,0	0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	
Св. 20,0 до 50,0			0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
Св. 50,0 до 125,0		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6
Св. 125,0 до 250,0	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0

Таблица П.1.17

Изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности

Наибольший размер поковки, мм	Припуски для классов точности (мм)				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включит.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
Св. 100 до 160	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
Св. 160 до 250	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Св. 250 до 400	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Св. 400 до 630	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Св. 630 до 1000	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
Св. 1000 до 1600	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
Св. 1600 до 2500	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

Таблица П.1.18

Основные припуски на механическую обработку поковки (на сторону)

Исходный индекс	Толщина детали, мм																																					
	до 25		25—40				40—63				63—100				100—160				160—250				св. 250															
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали, мм																																					
	до 40		40—100				100—160				160—250				250—400				400—630				630—1000				1000—1600				1600—2500							
100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25						
12,5	1,6	V	12,5	1,6	V	V	V	V	12,5	1,6	V	V	V	V	12,5	1,6	V	V	V	V	12,5	1,6	V	V	V	V	12,5	1,6	V	V	V	V	12,5	1,6	V	V	V	
0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	1,9	1,5	1,8
0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8
0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7
1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2
1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1
1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0
1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	
1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	4,1	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0		
2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Образец оформления отчета по выполнению лабораторной работы

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Уральский федеральный
университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Механико-машиностроительный институт
Кафедра технологии машиностроения

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

АНАЛИЗ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ И ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТНОГО ОПИСАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Выполнил	/ _____ /
Группа	/ _____ /
Проверил	/ _____ /

Екатеринбург
УрФУ
2016

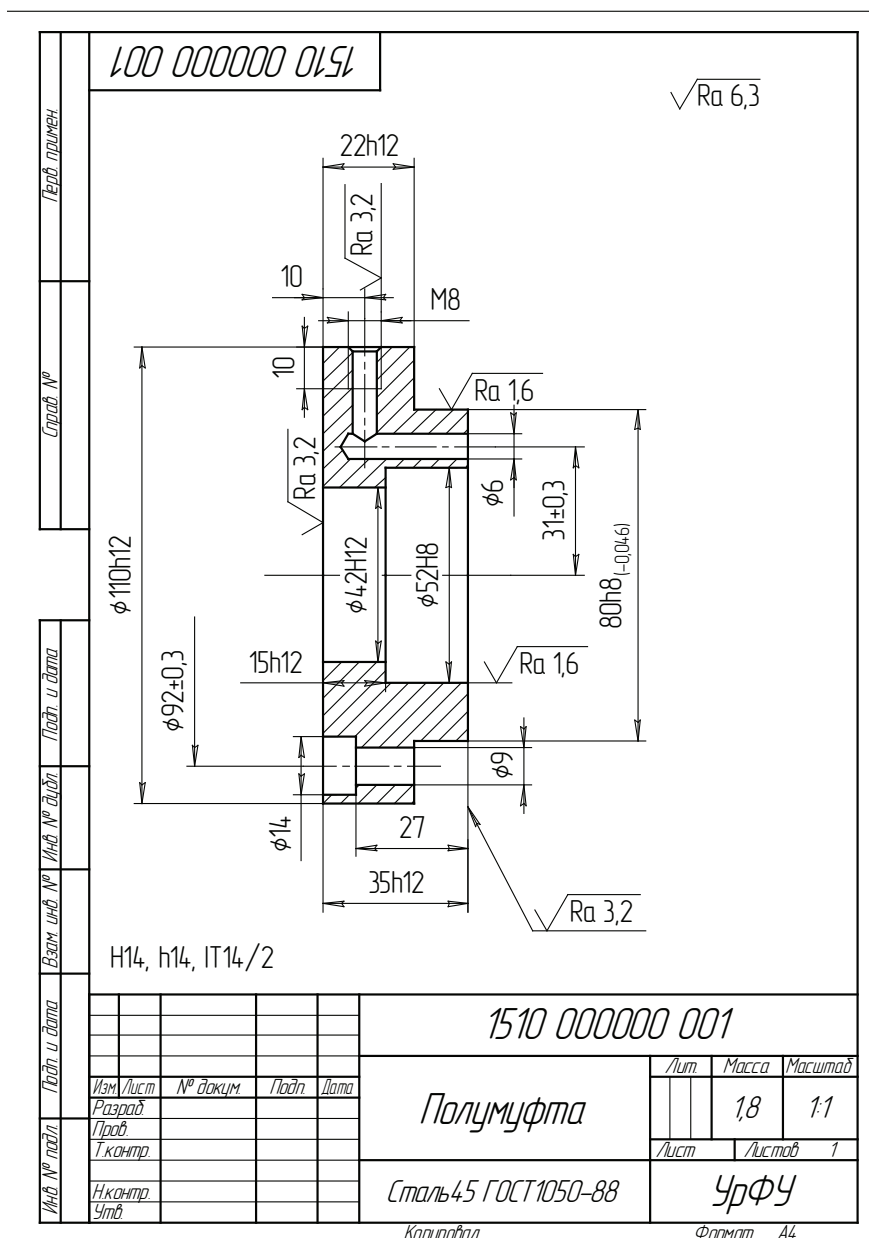
Цель работы: овладение навыками разработки маршрутного описания технологического процесса.

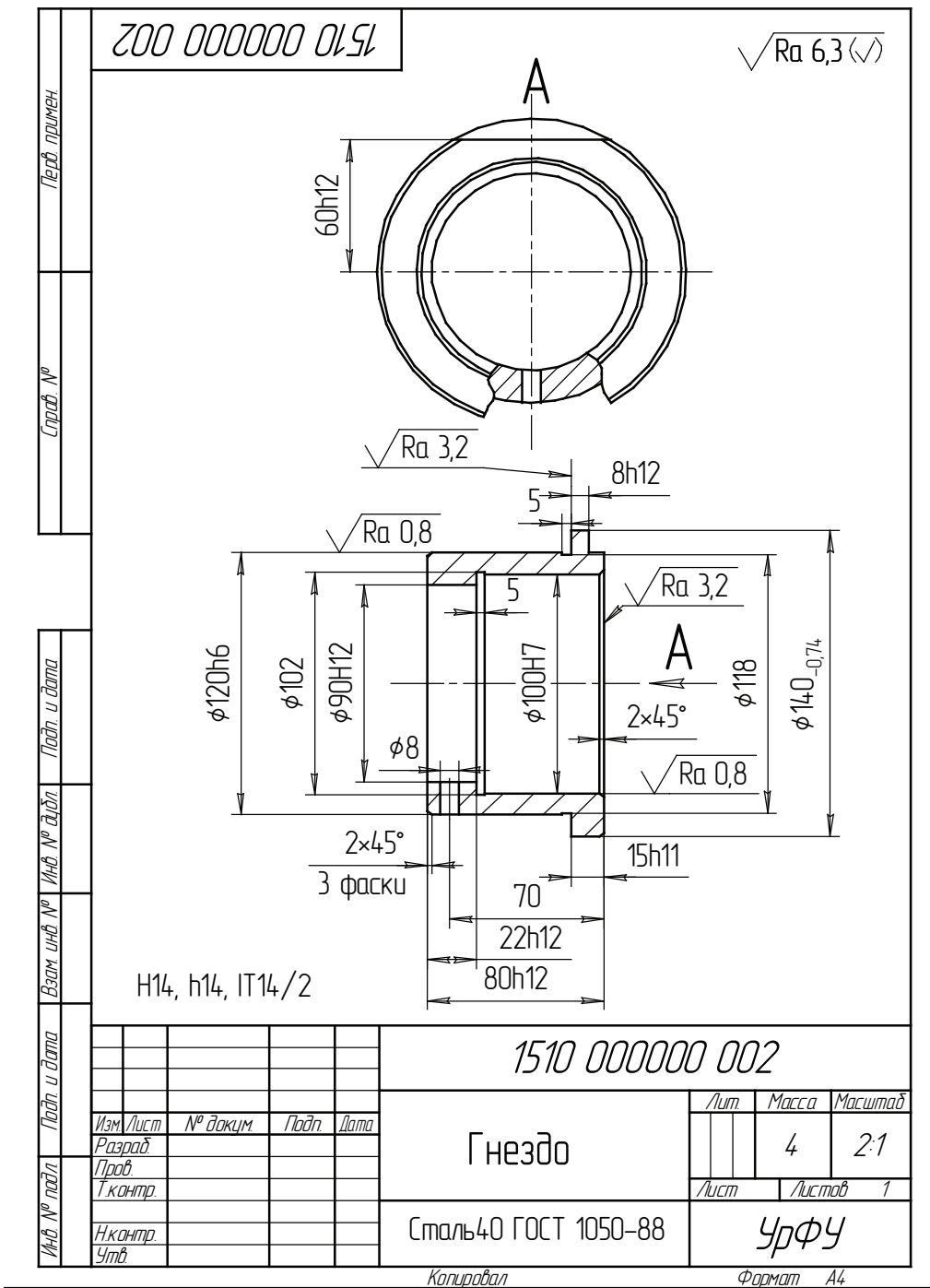
Порядок выполнения:

1. Создание рабочего чертежа детали;
2. Нумерация обрабатываемых поверхностей на модели детали;
3. Формулировка задач, решаемых в ходе механической обработки;
4. Формирование таблицы с маршрутом обработки заданной детали;
5. Оформление отчета.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

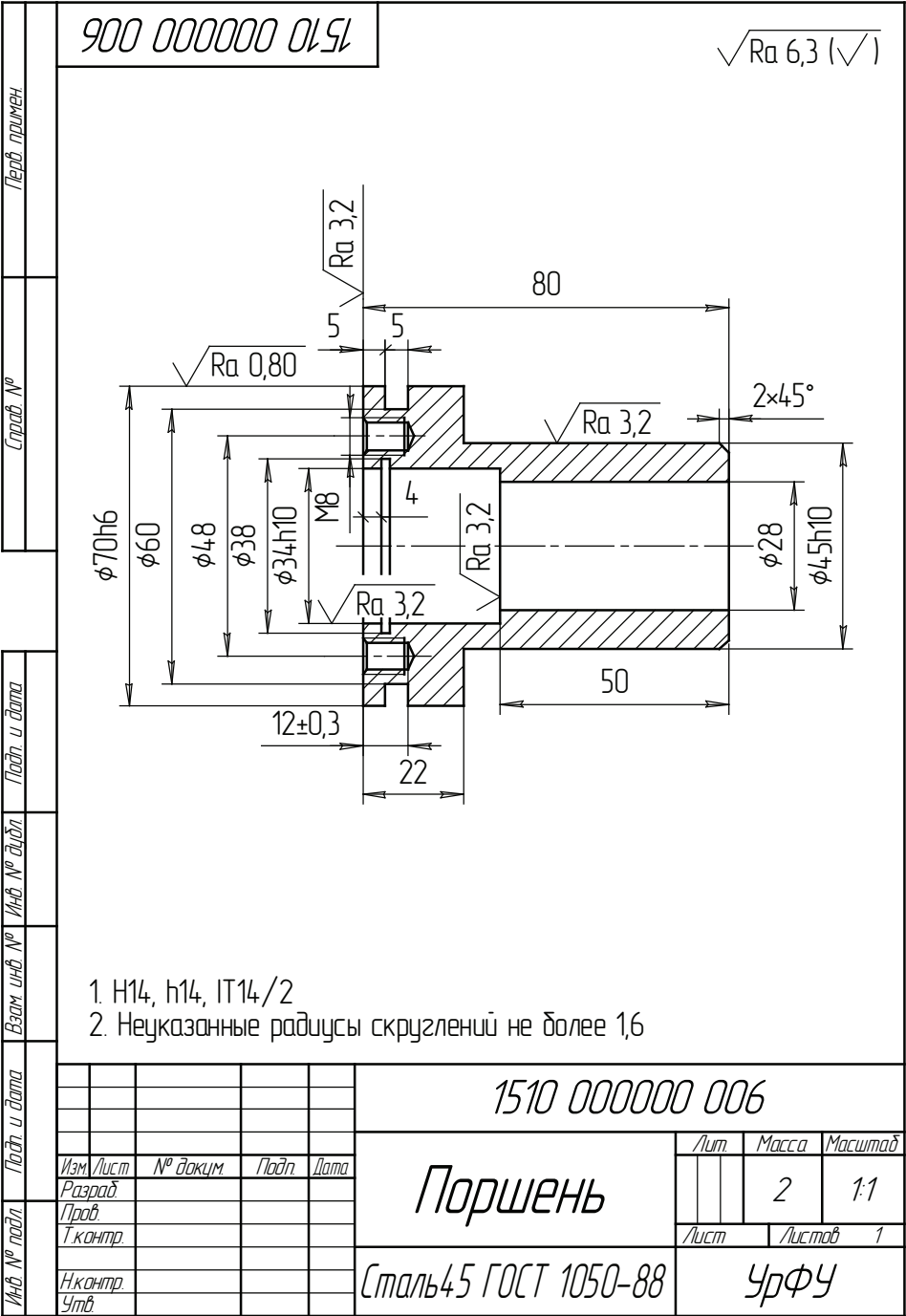
Чертежи к лабораторным работам





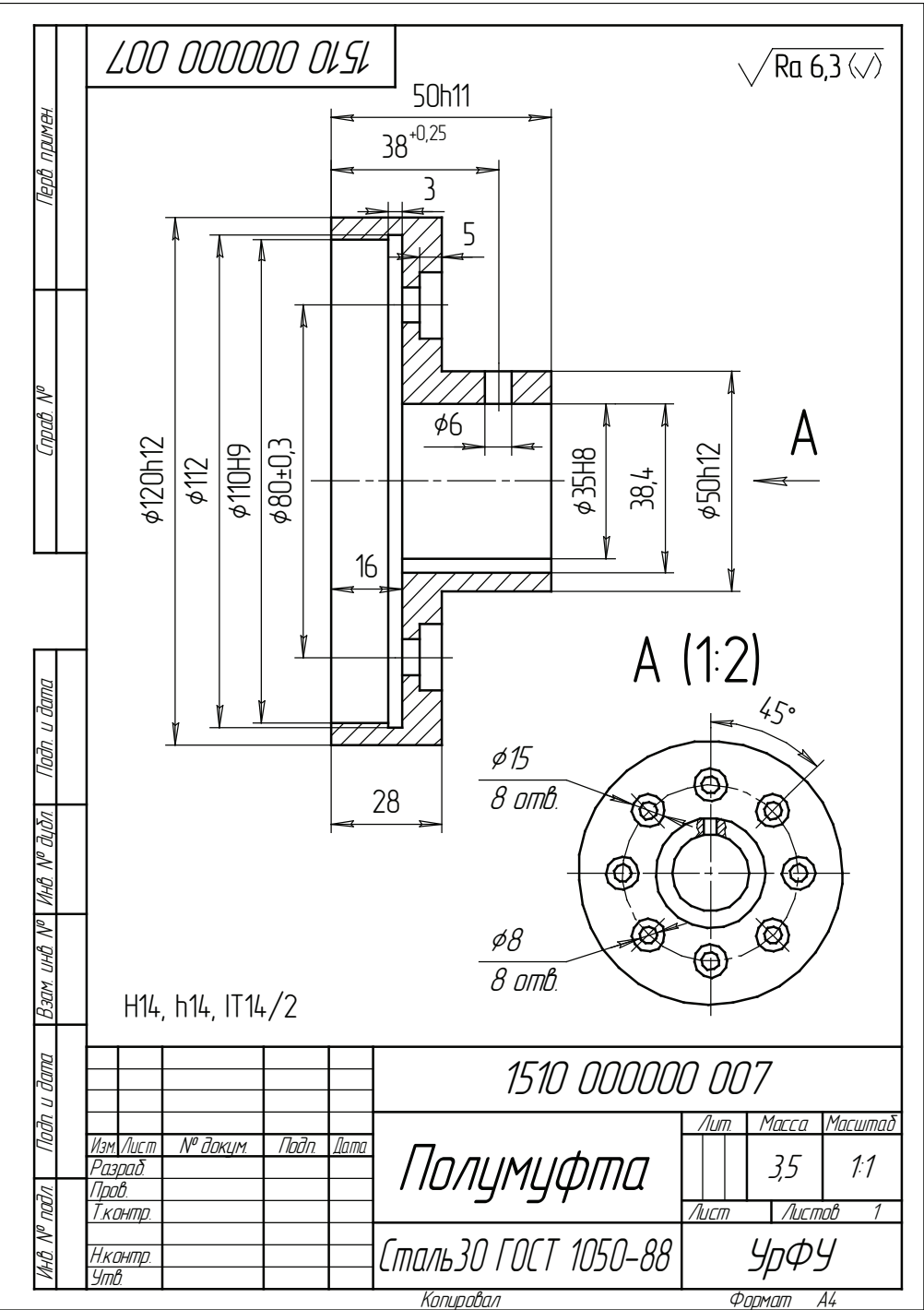
Формат А4

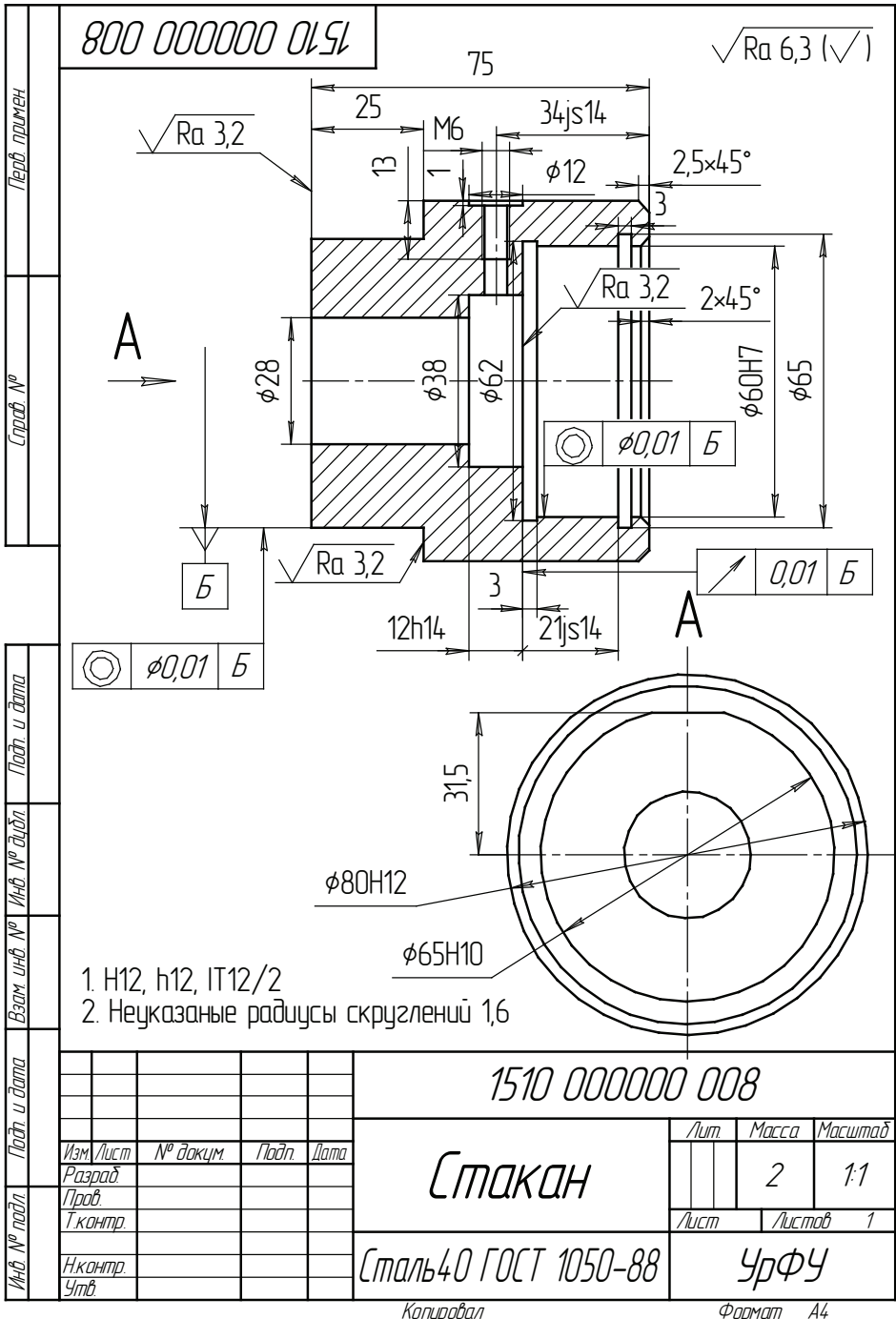
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div> <div>1510 000000 005</div> <div>Втулка</div> <div>Сталь 40 ГОСТ 1050-88</div> </div>	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.							4,5	1:1
Проб.						Лист	Листов	1
Т.контр.						УрФУ		
И.контр.						Копировал		
Утв.					Формат	A4		



Копировал

Формат А4





Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

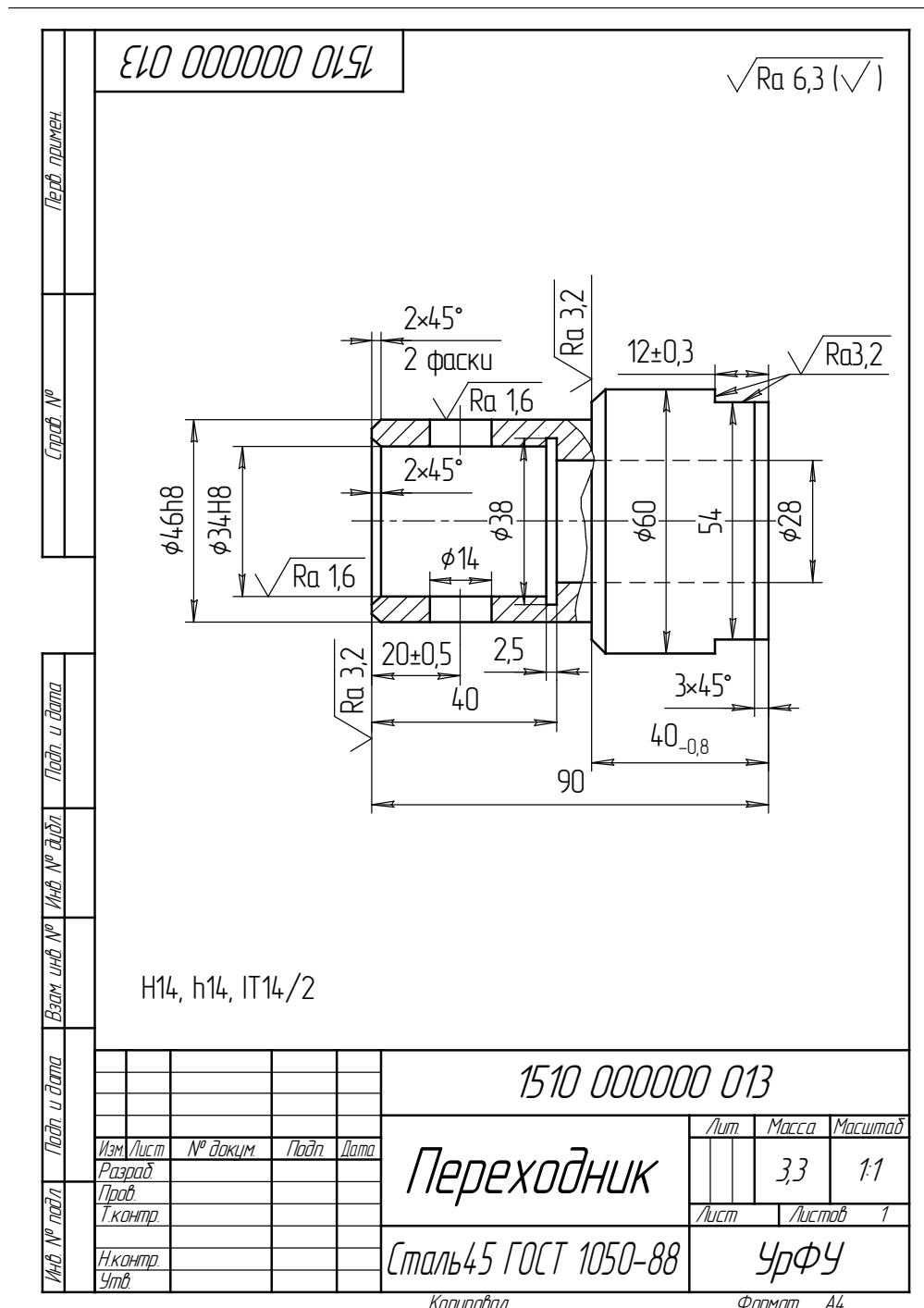
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

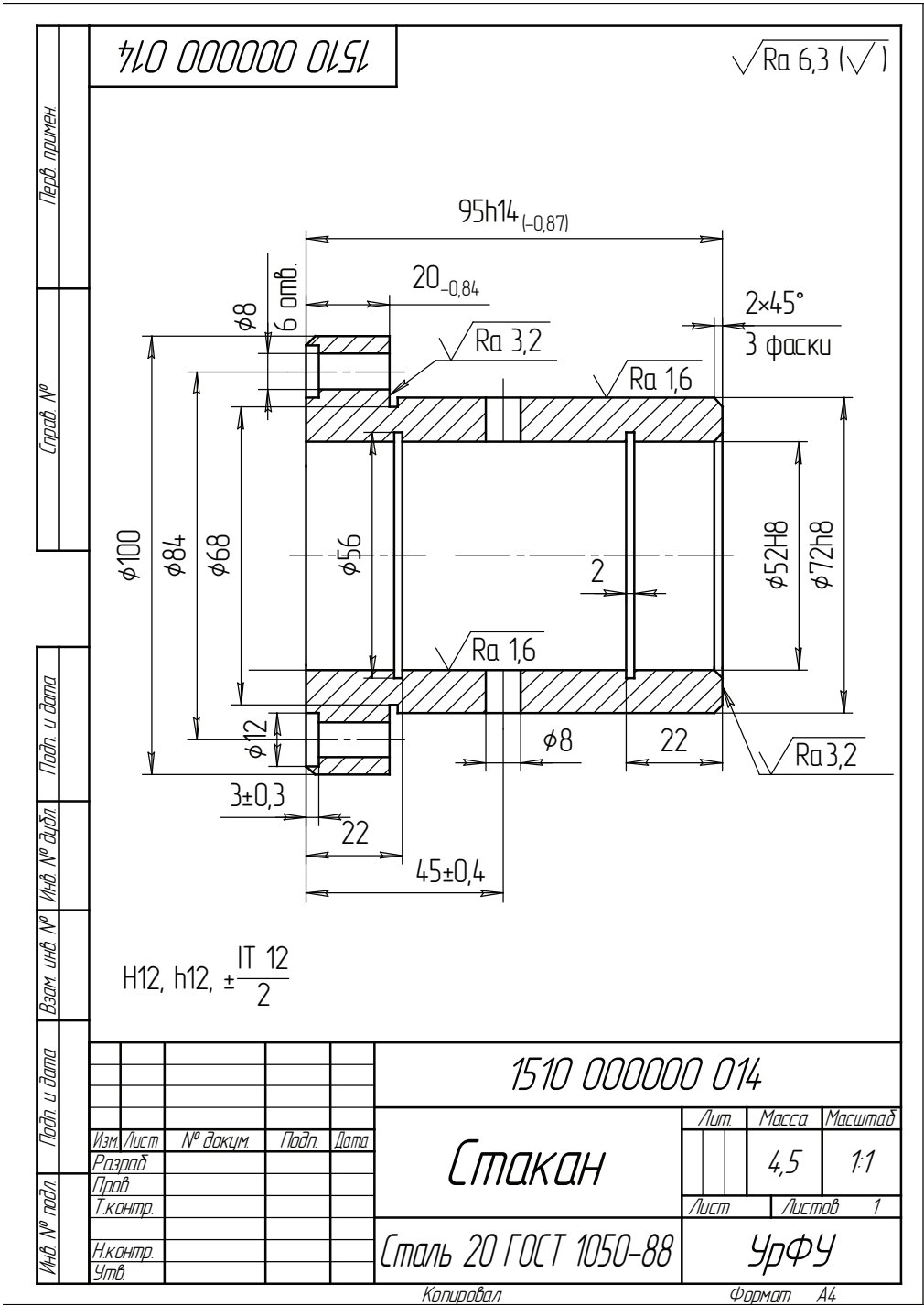
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Переходник	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сталь 35 ГОСТ 1050-88	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Углы	Лист	Масса	Масштаб

Изм. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1510 000000 009	Лист	Масса	Масштаб
Изм. №								

Изм./Лист	№ докум	Подп.	Дата	1510 000000 011	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.				Втулка	5	1:1	
Проб.					Лист	Листов	1
Т.контр.				Сталь 30 ГОСТ 1050-88	УрФУ		
И.контр.				Корректировка	Формат А4		
Утв.							





ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. НАЗНАЧЕНИЕ ЭТАПОВ И ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ	5
1.1. Общие сведения	5
1.2. Анализ исходных данных	7
1.3. Нумерация обрабатываемых поверхностей	7
1.4. Выбор исходной заготовки и метода ее получения	9
1.5. Определение общих припусков и допусков на размеры исходной заготовки	11
1.6. Формирование планов обработки поверхностей	13
1.7. Формирование технологических операций	16
2. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РАЗМЕРНОЙ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	20
3. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА	22
3.1. Общие сведения о графовых моделях	22
3.2. Построение графовых моделей	25
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ	28
5. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	30
5.1. Постановка задачи. Определение допусков на технологические размеры	30

5.2. Проверка точности конструкторских размеров	32
5.3. Проверка величин колебаний припусков	33
6. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И РАЗМЕРОВ НА ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКЕ	36
6.1. Учет запасов точности конструкторских размеров	36
6.2. Алгоритм расчета размеров.....	37
7. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	42
7.1. Аналитический метод расчета минимальных припусков	42
7.2. Опытнo-статистический метод определения припусков	48
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	56
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	62
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	67
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	77
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	78
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	88
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	90

Учебное издание

Галкин Михаил Геннадьевич

Смагин Алексей Сергеевич

**ПРАКТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА**

Редактор *В. О. Корионова*

Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 16.06.2016. Формат 70×100 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 8,7.
Уч.-изд. л. 4,6. Тираж 50 экз. Заказ 222.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: 8 (343) 358-93-06
E-mail: press-urfu@mail.ru

Для заметок

